

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Systém pro verifikaci metod binarizace obrazového  
signálu**

Analyse System for Application of Binarization Method of  
Image Signal

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Miroslav Schneider**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

**Systém pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu**  
**Analyse System for Application of Binarization Method of Image Signal**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky zpracování a analýzy obrazového signálu a metod binarizace.
2. Návrh systému pro analýzu a binarizaci s metodami úpravy obrazového signálu.
3. Realizace systému pro analýzu a binarizaci obrazového signálu implementaci do SW.
4. Srovnání měřených a analyzovaných výsledků s teoretickými předpoklady.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HÁJOVSKÝ, R., R. PUSTKOVÁ a F. KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. 1 DVD-ROM. ISBN 978-80-248-2596-0.
- [2] SOJKA, E., J. GAURA a M. KRUMNIKL. *Matematické základy digitálního zpracování obrazu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. 133 s. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/digitalni\\_zpracovani\\_obrazu.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/digitalni_zpracovani_obrazu.pdf).
- [3] BARTONĚK, Dalibor. *Počítačová grafika I. Modul 2 - Technické prostředky, zpracování obrazu a základy 3D grafiky*. Skripta. Brno: VUT FAST, 2005. 122 s.
- [4] WALEK, P., M. LAMOŠ a J. JAN. *Analýza biomedicínských obrazů: Počítačová cvičení*. Elektronická skripta. Brno: VUT v Brně, 2013. 138 s. ISBN 978-80-214-4792-9. Dostupné z: <http://www.dbme.feec.vutbr.cz/sites/default/files/news/fabo.pdf>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



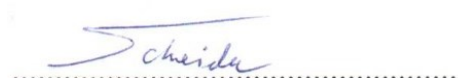
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Systém pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Macháčka, Ph.D. a uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých bylo čerpáno.

V Ostravě dne 7. května 2015



Miroslav Schneider

## **Poděkování**

Děkuji především panu Ing. Zdeňku Macháčkovi, Ph.D. jak za poskytování cenných rad, které mě vedly ke zdárnému postupu prací na této bakalářské práci, tak za jeho trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Štěpánu Ožanovi, Ph.D. za ochotu a výpomoc při hledání tematických zdrojů informací a středoškolské profesorce Libuši Skřivánkové za stylistickou a pravopisnou správnost mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s možnostmi verifikace a binarizace obrazového signálu a následné vytvoření systému pro zpracování obrazu a ověření teoretických vlastností a aplikovatelnosti popsanych metod. Systém pro verifikaci metod je vytvořen v programovém prostředí MatLab.

## **Klíčová slova**

Verifikace, segmentace, binarizace, prahování, práh, pixel

## **Abstract**

The aim of this thesis is to study the verification possibilities and binary image signal and the subsequent creation of a system for image processing and verification of theoretical properties and applicability of these methods. System verification methods are developed in MatLab.

## **Key Words**

Verification, egmentation, binarization, thresholding, threshold, pixel

# Obsah

Úvod.....	1
Rozbor problematiky zpracování a analýzy obrazového signálu a metod binarizace .....	2
Zpracování obrazu.....	2
Digitalizace .....	2
Předzpracování obrazu .....	2
Segmentace .....	2
Vyhledávání a rozpoznávání tvarů.....	2
Vizualizace .....	2
Segmentace .....	3
Binarizace.....	3
Metody binarizace obrazu .....	4 - 28
Binarizace prahováním (thresholding) .....	4
Prahování experimentálně (manuálně) zvoleným prahem .....	6
Prahování prahem určeným z histogramu .....	10
Globální prahování užívající Otsuovu metodu.....	11
Poměrné prahování.....	15
Metoda hysterezního prahování .....	19
Adaptivní prahování .....	23
Binarizace metodou narůstání oblastí.....	28
Binarizace metodou dělení oblastí .....	28
Návrh systému pro analýzu a binarizaci metodami úpravy obrazového signálu .....	29
Realizace systému pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu implementací do SW .....	31
Řešení práce .....	31
Srovnání analyzovaných výsledků s teoretickými předpoklady .....	33
Analýza verifikace výsledků binarizace implementovaných metod na testované obrazy.....	33 - 44
Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení .....	33
Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení.....	34
Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení.....	34
Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení .....	35
Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení .....	36
Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení.....	36
Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení.....	37
Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení.....	38
Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení .....	38
Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení.....	39

Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení .....	40
Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení .....	40
Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení .....	41
Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení .....	42
Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení .....	42
Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení .....	43
Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení .....	43
Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení .....	44
Závěr .....	45
Seznam zdrojů informací .....	46
Seznam obrázků a tabulek .....	47
Seznam příloh .....	51
Příloha výsledků č. 1.1 .....	A
Příloha výsledků č. 1.2 .....	B
Příloha výsledků č. 1.3 .....	C
Příloha výsledků č. 2.1 .....	D
Příloha výsledků č. 2.2 .....	E
Příloha výsledků č. 2.3 .....	F
Příloha výsledků č. 3.1 .....	G
Příloha výsledků č. 3.2 .....	H
Příloha výsledků č. 3.3 .....	I
Příloha výsledků č. 4.1 .....	J
Příloha výsledků č. 4.2 .....	K
Příloha výsledků č. 4.3 .....	L
Příloha výsledků č. 5.1 .....	M
Příloha výsledků č. 5.2 .....	N
Příloha výsledků č. 5.3 .....	O
Příloha výsledků č. 6.1 .....	P
Příloha výsledků č. 6.2 .....	Q
Příloha výsledků č. 6.3 .....	R

## Úvod

V dnešní době je stejně jako v dobách minulých velmi důležitým faktorem pro naprostou většinu pracovních postupů vizuální kontrola výrobku či výsledné hodnoty zobrazené na libovolném zobrazovacím zařízení. Protože je ale vizuální kontrola lidským zrakem pro porovnávání vzorového a testovaného objektu značně zdlouhavá a pro mnoho technologií co se kvality kontroly a kladených nároků týče nedokonalá metoda, používá se pro činnosti takovýchto systémů zpracovávajících digitálních snímků zkoumaného nebo testovaného objektu. Právě pořízením digitalizovaného obrazu zkoumaného objektu začíná celý řetězec akcí, jenž je nutné podstoupit pro konečné vyhodnocení, zda se v případě snímaného objektu jedná o objekt v souladu s výrobním vzorem či jinak ideálním vyobrazením dle nároků výrobních procesů. Takovýchto technologických postupů analýzy digitálního obrazu však není používáno pouze v prostředí kontroly kvality výroby ale také například v analýze rentgenových snímků či vyobrazení výsledných ukazatelů biomedicinských přístrojů. Mají tak velmi široké spektrum uplatnění.

Aby byla zajištěna správná analýza zobrazovaných dat, je nutné rozlišit zkoumaný objekt či průběh od pozadí, jež je pro další zpracování obrazu nedůležité. Jedním z prvních kroků správného vyhodnocení objektu zachyceného na testovaném snímku je právě binarizace. Aby byla binarizace snímku správně provedena, a to s co nejmenší chybou zpracovávaných dat, je nutné vhodně vybrat metodu, schopnou věrně zachytit důležité proporce snímaného objektu. Takovouto verifikační metodou se zabývá tato práce s cílem vyhledání pro každý testovaný obraz nejvhodnější separační metody rozdělující obraz do dvou jasových úrovní - černé a bílé, tedy binárního tvaru. V reálné praxi jsou využívány jak tyto v následujícím textu hlouběji do detailu popsané metody, tak metody separující obraz dle jasových či barevných úrovní do většího počtu výstupních úrovní, jež je systém následného zpracování obrazu schopen použít.

Práce je obsahově rozdělena do tří částí. První část je věnována teoretickému popisu binarizačních metod, tedy jejich vnitřnímu popisu funkce a teoretické aplikovatelnosti metody v reálném využití. V případě metod, které jsou dále v práci aplikovány, obsahuje teoretická část práce matematický popis funkce metody a rovněž příkladové řešení kódu v jazyce MatLab dané metody s popisem jeho funkce.

Druhá část práce je věnována návrhu a sestavení virtuálního systému řešeného v prostředí MatLab. Tento systém je schopen analýzy verifikace výstupů binarizačních metod implementovaných do systému vůči jejich verifikačním vzorům. Soubor implementovaných metod vychází z metod podrobně popsaných v teoretické první části práce.

Ve třetí části práce jsou data získaná analýzou verifikace výstupů jednotlivých binarizačních metod dále použita pro ověření teoretických předpokladů funkčnosti a aplikovatelnosti jednotlivých metod a pro vyhodnocení nejvhodnějších binarizačních metod aplikovatelných pro binarizaci testovaných vzorových obrazů.



# Rozbor problematiky zpracování a analýzy obrazového signálu a metod binarizace

## Zpracování obrazu

### Digitalizace

Samotný převod signálu z analogové do digitální podoby se provádí takzvanou digitalizací. Průběh digitalizace se skládá ze dvou stěžejních částí ze vzorkování a kvantování. Výsledkem vzorkování je myšlen součin pole obrazu se vzorkovací funkcí  $s(x, y)$  za vzniku obrazové funkce popsané jako  $f_s(x, y)$ . Takto vzorkovaný obrazový signál je však nutno uchovat jakožto dále zpracovávanou informaci v elektronické podobě (byte, slovo, atd.). Takovéto uchovatelné digitální podoby je dosaženo kvantováním, tedy převodem spojitě úrovně obrazového signálu do úrovně, kterou lze uchovat. Samotné kvantování probíhá rozdělením, např. jasu do jasových úrovní (256 odstínů šedi) daných četností kvantizační funkce  $g(x, y)$ . Kdy kvantizační funkce nabývá hodnot v počtu požadovaných úrovní jasu. Po dokončení kvantování pole obrazu je již obrazový signál plně digitalizován, avšak je důležité uvážit požadovanou přesnost digitalizace pro cílovou aplikaci, neboť při digitalizaci samotné dochází k nenávratné ztrátě dat vstupního spojitého analogového toku dat.

[2], [3]

### Předzpracování obrazu

Do této kategorie zpracovávání obrazu patří úpravy velikosti, tzv. komprese obrazu co se do jeho rozměrů (v pixelech) i datových rozměrů týče. Dále mohou být obrazy předzpracovány globální nebo lokální úpravou jasové či kontrastové úrovně. Rovněž můžou být obrazy podrobeny filtraci šumu, a to například filtrací pomocí výřezové funkce nebo rekurzivním filtrem, které jsou podrobněji popsány například ve zdrojovém dokumentu [2].

### Segmentace

Segmentace je stěžejním krokem zpracování obrazu pro oddělení pro další zpracování zajímavých objektů od zbylých částí obrazu, nebo oddělení zkoumaných částí od sebe. Nejvýznamnějšími nástroji segmentace jsou prahování (tzv. thresholding), jež je pro tuto práci primárně rozebráno v následujících kapitolách detekce bodů, hran, přímk, křivek či objektů definovaných různými geometrickými tvary. Tato kapitola je z důvodu primárního tématu této práce v následujícím textu hlouběji rozepsána.

[3], [7], [10]

### Vyhledávání a rozpoznávání tvarů

Tento krok zpracovávání informace o objektu zobrazeném na řešeném obrazu je jedním z výpočetně nejnáročnějších. V této kategorii se nalézají algoritmy vyhledávající hrany objektů, spojující nalezené hrany, prokládající nalezeným objektem geometrické obrazce od přímk přes jednoduché objekty po kuželosečky a jejich vyznačení v objektu. Takto nalezené objekty lze přeměřit a porovnat se vzorem, zda byl např. v případě kontrolovaného výrobku vyroben ve správném tvaru.

### Vizualizace

Pomocí vizualizačních nástrojů jsou obrazové operace či výsledný obraz zobrazeny v uživatelsky příjemném a přehledném prostředí. Takovýmto prostředím může být GUI v prostředí MatLab, stejně tak i prostředí vyhotovené pomocí LabWiew, Promotic nebo jiného programového prostředí virtuální instrumentace.

## Segmentace

Segmentace obrazu je jedním z nejdůležitějších kroků vedoucích k analýze obsahu zpracovávaných obrazových dat. Snahou segmentace obrazu je rozčlenit obraz do částí, které mají úzkou souvislost s předměty či oblastmi reálného světa zachyceného na obraze. Výsledkem segmentace by měl být soubor vzájemně se nepřekrývajících oblastí, které buď jednoznačně korespondují s objekty vstupního obrazu - pak jde o kompletní segmentaci - nebo vytvořené segmenty nemusí přímo souhlasit s objekty obrazu - pak jde o částečnou segmentaci. Častá je situace, kdy je obraz tvořen kontrastními objekty na pozadí neměnného jasu - např. nedotýkající se chromozomy, krevní buňky, psaný text apod. Tam lze užít jednoduché globální postupy a dosáhnout kompletní segmentace obsahu obrazu na objekty a pozadí. Takovéto postupy nezávisí na kontextu, neužívají žádného modelu zpracovávané oblasti, ani nepřispívají řízení procesu segmentace znalostí výsledné oblasti.

Při částečné segmentaci je výsledkem rozdělení obrazu do samostatných částí, které jsou homogenní vzhledem k určitým zvoleným vlastnostem, jako jsou jas, barva, odrazivost, textura. Po zpracování je výsledkem seznam oblastí, které jsou homogenní v jistých zvolených rysech. Oblasti se obecně mohou překrývat. Na data popisující částečnou segmentaci je nezbytné aplikovat další postupy, které pomocí vyšší úrovně separace umožní získat výslednou segmentaci obrazu.

Dokonalá nebo správná segmentace složitých obrazů není v této fázi zpracování dosažitelná. Rozumným cílem je získat částečnou segmentaci, jejíž výsledky mohou být zpřesněny při následném zpracování operacemi vyšších úrovní. Okamžitým přínosem segmentace je výrazná redukce objemu zpracovávaných dat. Jedním z hlavních problémů ovlivňujících segmentaci je nejednoznačnost obrazových dat, často doprovázená informačním šumem. Podle dominantní vlastnosti, které je pro segmentaci využíváno, lze metody rozdělit do tří skupin:

1. Metody využívají globální znalosti obrazu (nebo jeho části) reprezentované obvykle histogramem určitých vlastností.
2. Postupy vycházející z určování hranic mezi oblastmi (částmi) obrazu.
3. Postupy přímo vytvářející tyto oblasti (jejich části).

Není přitom podstatné, z jakých charakteristik (jas, textura, rychlostní pole apod.) při hledání hranic nebo při tvorbě oblastí vycházíme. Každá oblast je jednoznačně reprezentována svou hranicí a každá uzavřená hranice jednoznačně vypovídá o oblasti, kterou obemyká. V důsledku odlišného charakteru obrazových dat i odlišných algoritmů tvorby hranic a oblastí přináší všechny tři skupiny metod poněkud rozdílné segmentační výsledky. Výsledky postupů všech tří skupin lze proto kombinovat a vytvořit jedinou popisnou strukturu.[1]

## Binarizace

Samotná binarizace neboli Gray-scale konverze je metoda transformující originální obraz ve formě stupňů šedi do binárního zobrazení. Výsledkem této transformace jsou vyobrazené objekty bílou barvou na černém - pro další zpracování nezajímavém pozadí. Pro převod obrazu ze stupňů šedi na binární obraz je nutné eliminovat zbylé nezajímavé objekty a chyby vyskytující se v obrazu pro získání důsledné detekce objektu. Tyto chyby mohou být způsobeny například při detekci výrobku na posuvném páse jeho nepředvídanou trajektorií pohybu. Objekt by tedy nebyl zaznamenán správně (buď ze špatného úhlu natočení objektu, narušení jeho světelné odrazivosti, snížení jeho jasu vůči pozadí, nebo by byl snímek rozmazaný), např. při detekci otisků prstu nečistotami na snímaném povrchu kůže, nebo obecnými rušivými objekty jakými jsou například prachové částice. Jak je patrné, samotná konverze na binární úroveň a vhodné zvolení zpracující metody není jednoduchou záležitostí. Volba zpracující metody je však závislá na potřebách přesnosti a rychlosti konverze obrazu.

## Metody binarizace obrazu

### Binarizace prahováním (thresholding)

Prahování, anglicky též thresholding, je jednou z nejstarších a nejjednodušších segmentačních metod užívaných pro binarizaci obrazu. Přestože se jedná o velmi omezenou metodu, co se nastavení parametrů týče, je stále jednou z nejpoužívanějších segmentačních metod. Primárním důvodem využívání právě této segmentační metody je především její jednoduchost a snadná časově nenáročná implementace do systémů.

Aby bylo možné uskutečnit prahování, neboli thresholding, ve smyslu binarizačním, je důležité nalezení onoho jediného prahu  $T$  (z anglického threshold), jenž je pro uskutečnění samotné binarizace stěžejním. Protože však nejsou všechny obrazy ideálně a bezchybně pořízené, je vyvinuto mnoho metod pracujících na rozdílných principech binarizace vycházejících z rozdílných vlastností jednotlivých vyobrazení objektu na pozadí obrazu. Každá z prahovacích metod pracuje na trochu rozdílném principu. Jejich rozdělení členíme dle rozsahu zpracovávaných částí obrazu, dle poměrného vyjádření relativních velikostí objektů a pozadí, dle množství kopců a hustoty vrcholů v histogramu a dle určování úrovně pixelů objektu od pozadí pevným či pohyblivým prahem, který využívá hystereze. Všechny takovéto metody lze užít pro převod obrazu o stupních šedi do binární podoby. Pro vysvětlení principu funkce bude považovat za vstupní takový obraz, jehož zobrazovací body (dále též pixely či členy v matici obrazu) nabývají pouze 256 hodnot světelného jasu, tedy odstínů šedi. Na obrazu bude zobrazen světlý objekt na tmavém pozadí.

Princip samotného prahování je takový, že obraz je chápán jako funkce  $f(x, y)$  jejíž body jsou zobrazeny do matice pixelů obrazu. Tyto body jsou následně dle hodnot své světelné intenzity (stupně šedi) rozděleny do dvou dominantních skupin  $a$ ,  $b$ . Skupina  $a$  zpravidla obsahuje pixely tvořící světlý zobrazovaný objekt zájmu, skupina  $b$  obsahuje veškeré pixely pozadí. Pro rozdělení obou skupin se používá práh  $T$ , při jehož užití platí, že body obrazu  $(x, y)$ , jejichž hodnota  $f(x, y) > T$  jsou nazývány objektovým bodem. Jinak jsou nazývány bodem pozadí. Binarizovaný obraz  $g(x, y)$  je tak popsán jako

$$g(x, y) = \begin{cases} a & \text{jestliže } f(x, y) > T \\ b & \text{jestliže } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

kde pixely, popsané jako  $a$ , náležící objektu nabývají logické hodnoty 1 (nabývající bílé barvy). Zatímco pixely, popsané jako  $b$ , náleží pozadí a jejich logická hodnota je tedy 0 (nabývající černé barvy).

Neboť hodnota prahu je vizuálně nejzřetelnější z histogramu intenzity daného obrazu a neboť se hodnota prahu vyskytuje nejčastěji v tzv. údolí mezi tzv. kopci histogramu, jež vyjadřují nejčastěji se v obrazu vyskytující jasové úrovně, nemusí se v daném obrazu vyskytovat pouze jediná hodnota možného prahu. Jestliže je práh  $T$  konstantní pro celý obraz, jsou vhodnými metodami pro prahování obrazu právě metody globálního prahování. Zatímco v případě, kdy se v obraze vyskytne povícero možných prahových hodnot, není již možné užít pouze metod globálního prahování, nýbrž je nutné použití lokálního prahování, adaptivního prahování či metod pracujících na principu narůstání či dělení zpracovávaných oblastí. V případě, kdy se vyskytuje více než jedna prahová hodnota a je užito globálního prahování, se již jedná o prahování duální či vyšší úrovně.

- Jestliže  $T$  závisí pouze na  $f(x, y)$ , pak se jedná o globální prahování.
- Jestliže  $T$  závisí na  $f(x, y)$  a  $p(x, y)$ , kde  $p(x, y)$  je vlastnost zobrazovaného bodu (např. odstín šedi), pak se jedná o lokální prahování.
- Jestliže  $T$  závisí na prostorových souřadnicích  $(x, y)$ , pak se jedná o dynamické neboli adaptivní prahování.

Možností tzv. duálního prahování nebo prahování vyšším počtem prahů se v této práci není důležité hlouběji zabývat, neboť jeho výstupem není binární obraz, ale obraz alespoň o třech výstupních hladinách jasu  $g(x, y)$ . Zde jsou pixely  $(x, y)$  řazeny do pozadí  $c$  jestliže  $f(x, y) \leq T_1$ , do první objektové hladiny  $b$  jestliže  $T_1 < f(x, y) \leq T_2$  a do druhé objektové hladiny  $a$  když  $f(x, y) > T_2$ . Takováto segmentace je dána předpisem kde  $a, b, c$  jsou tři rozdílné hodnoty intenzity. [1], [8]

$$g(x, y) = \begin{cases} a & \text{jestliže} & f(x, y) > T_2 \\ b & \text{jestliže} & T_1 < f(x, y) \leq T_2 \\ c & \text{jestliže} & f(x, y) \leq T_1 \end{cases}$$

## Prahování experimentálně (manuálně) zvoleným prahem

Jedná se o nejjednodušší případ použití prahu  $T$  pro binarizaci obrazu. Experimentální nalezení prahu probíhá ručně, kdy nejčastěji lidský faktor, či libovolný algoritmus určí práh  $T$  tak, aby segmentovaný objekt v obrazu odpovídal pokud možno nárokům dalšího zpracování. Použití této metody je nejvhodnější právě v případě, kdy nedochází ke změně světelných podmínek a lze tedy použít jednou určený práh pro větší soubor zpracovávaných dat.

Principiálně lze funkci samotné segmentace binarizací experimentální metodou popsat jako rozdělení celkové množiny  $M$  v obraze použitých úrovní intenzity jasu pixelů dle hodnoty prahu  $T$  do dvou skupin intenzit. Pixely  $f(x,y)$  náležící jednotlivým skupinám intenzit  $m_1$  a  $m_2$  jsou dle níže uvedeného matematického popisu přiřazeny do jednotlivých logických úrovní výsledného binárního obrazu  $g(x,y)$ .

$$M = m_1 + m_2$$

$$g(x,y) = \begin{cases} m_1 & \text{jestliže } f(x,y) > T \\ m_2 & \text{jestliže } f(x,y) \leq T \end{cases}$$

$$m_1 \in \text{logická } 1$$

$$m_2 \in \text{logická } 0$$


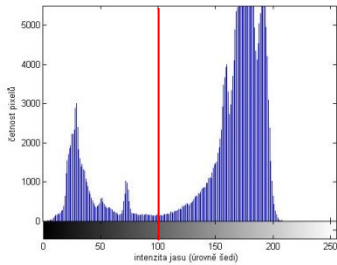


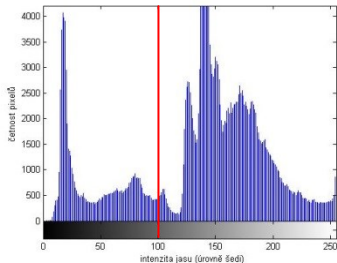


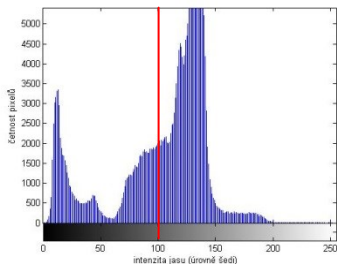

Takovéto logické uspořádání však není závazné, záleží tak na logice a funkci a požadavcích na výstup binarizačního algoritmu.

V jazyce MatLab lze binarizaci určením prahu vykonat následujícím kódem:

```
>>I=imread('obraz.jpg');  
>>I=rgb2gray(I);  
>>T=100; %experimentálně zvolená hodnota úrovně prahu  
>>prah=(T/255); %přepočet úrovně jasu prahu z <0;255> na <0;1>  
>>BW=im2bw(I,prah); %rozdělení pixelů do dvou úrovní dle úrovně  
prahu 1 (pozadí):{k>T}, 0 (objekt):{k<=T}
```

V předloženém kódu popisujícím řešení manuální globální binarizace je prvním krokem načtení řešeného předpokládaného barevného obrazu  $I$  příkazem „imread('obraz.jpg)“ jenž je převeden dle úrovní jasů jednotlivých pixelů na obraz o odstínech šedi. V dalším kroku je uživatelsky určena úroveň prahu  $T$  na libovolnou hodnotu z intervalu  $M = < 0; 255 >$  všech možných zpracovávaných 256 odstínů šedi, logicky tedy použitelných 254. V případě použitého kódu  $T = 100$  je dále nutno tuto hodnotu přečíslit do intervalu  $< 0; 1 >$  pro užití funkce  $im2bw(I,prah)$  jenž pixely řešeného šedivého obrazu rozdělí dle prahu  $T$ , a to dle pravidla *logická 1*:  $k > T$ , *logická 0*:  $k \leq T$ , kde  $k$  je úroveň jasu řešeného pixelu.

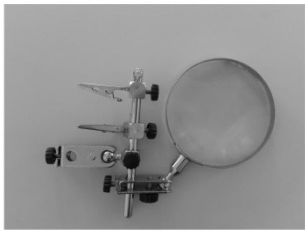
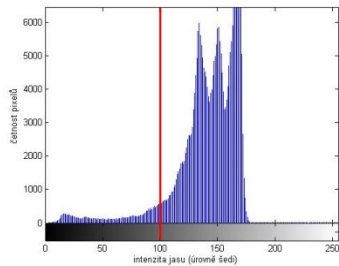
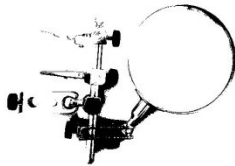

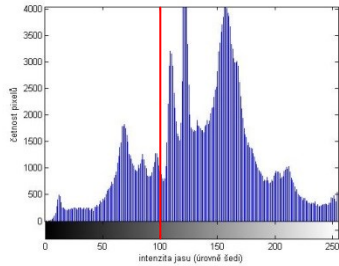
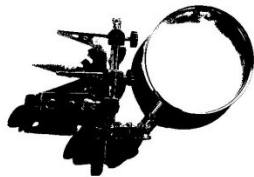

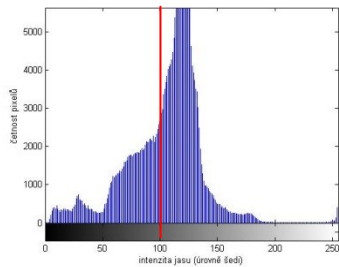
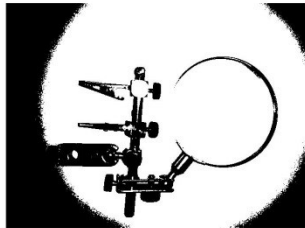
Pro příklad aplikace a jsou hodnoty prahu  $T = 100$  vyneseny červenou úsečkou do histogramu obrazů **Obr. 1**, **Obr. 2**, **Obr. 3**, na kterých je již vizuálně zřetelná nepoužitelnost téhož prahu pro vícero různých zpracovávaných obrazů při různých světelných podmínkách.

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 1** Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:  
A - denní, B - nepřímé, C - přímé


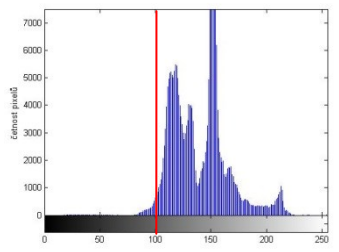


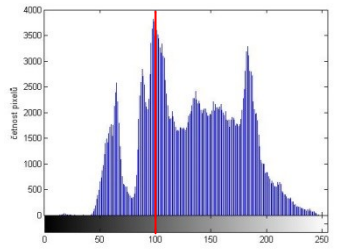
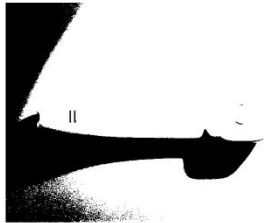
Z uvedených ilustrací **Obr. 1** až **Obr. 3** je zřejmé, že se jedná o metodu velmi závislou na světelných podmínkách objektu. Již z vizuální kontroly je tak zřejmé, že objekty osvětlené nepřímým osvětlením jsou rozpoznávány mnohem hůře, neboť se ve snímku vyskytují příliš výrazné stíny objektu, které takto metodu manuálního určení prahu značně ruší.

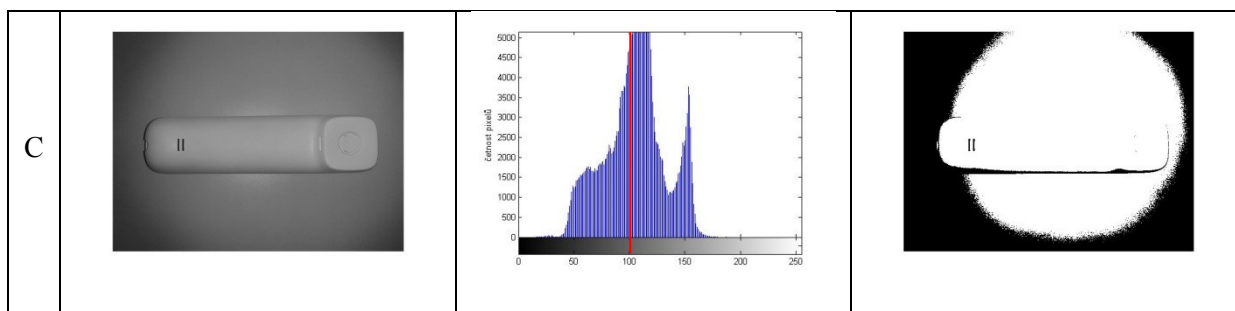
Porovnáním jednotlivých histogramů testovaných obrazů lze nalézt při stejných světelných podmínkách různých snímaných objektů v četnosti pixelů značnou tvarovou podobnost. Přestože jsou na testovaných obrazech zobrazeny rozdílné objekty, histogramy testovaných obrazů sejmutých pod denním osvětlením, zahrnují mírně klenuté údolí ohraničené z jedné strany mírným vrcholem, na straně druhé celému histogramu dominantním vrcholem, globálním maximem histogramu obrazu přibližně v polovině celkové škály stupně jasu. Výrazným společným kritériem testovaných obrazů při snímání nasvícených nepřímým osvětlením je téměř celou škálu úrovní intenzity zahrnující histogram, jenž dosahuje více než jednoho dominantního vrcholu celé škály histogramu. Takto osvětlené testované obrazy jsou tedy metodou manuálního prahování velmi těžko segmentovatelné. Oproti předchozím společným tvarům histogramu jsou společným prvkem tvarů histogramu testovaných obrazů sejmutých pod přímým osvětlením právě jeden globální vrchol bez dalších parazitních vrcholů znesnadňujících manuální určení prahu.

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 2** Přehled: stříbrolesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:

*A - denní, B - nepřímé, C - přímé*

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			



**Obr. 3** Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:

*A -denní, B -nepřímé, C-přímé*

Nejčastěji je však experimentálně nalezený práh využíván jako výchozí bod výpočetních složitějších metod, a to v případě segmentace zejména obrazů, při jejichž pořizování dochází k minimálním změnám světelných podmínek. Z tohoto důvodu vysoké citlivosti metody na změny okolních světelných podmínek snímaného objektu je tato metoda nedoporučována pro užití v praktických průmyslových podmínkách bez chráněného snímacího prostředí proti vnějším neregulovatelným světelným vlivům. [10]



## Prahování prahem určeným z histogramu

Existuje řada metod prahování obrazu s využitím histogramu. Většinou se jedná o iterativní (opakovací) metody, jejichž cílem je dosáhnout zadaným kritériem  $\Delta T$  jenž udává přesnost prahování výsledného binarizovaného obrazu v závislé na nárocích na přesnost výsledného obrazu, které jsou nejvhodnější, pro separaci pixelů objektu od pozadí. Metody tak obvykle předpokládají, že je rozdělení odstínu šedi v případě testovaného obrazu dostatečně odlišné od hodnot odstínu šedi na pozadí obrazu.

Pro užití této metody, využívající zjištění hodnoty prahu z průměrných hodnot úrovní šedi, je důležité z histogramu zřetelné oddělení pixelů objektu od pozadí jasovými úrovněmi stupňů šedi pixelů obrazu. V případě, že by tento objekt nebyl od pozadí zřetelně oddělitelný a v histogramu by se vyskytoval více než jeden možný práh, tj. více než jedno lokální minimum mezi globálním maximem a lokálním maximem jasových hodnot histogramu, metoda by nemusela plnit svou funkci správně. Je tedy velmi důležité vhodné zvolení vstupních obrazů.

Heuristický přístup je založen na vizuální inspekci histogramu. Prahovací úroveň  $T$  lze zjistit automaticky:

1. Výběr počátečního  $T$  buď odhadem, nebo pomocí některé výpočetní metody (například určením průměrné jasové hodnoty obrazu, střední jasové hodnoty obrazu...).
2. Segmentace obrázku s použitím úrovně  $T$  na skupinu pixelů  $G_1$  obsahující všechny pixely náležící objektu a  $G_2$  obsahující pixely náležící pozadí.

$$G_1 = \{f(x, y) : f(x, y) > T\}$$

$$G_2 = \{f(x, y) : f(x, y) \leq T\}$$

3. Výpočet střední úrovně šedi  $m_1$  jako průměr hodnot pixelů oblasti  $G_1$  a  $m_2$  pro pixely oblasti  $G_2$ .
4. Výpočet nové prahovací úrovně  $T'$  jako vypočteného průměru hodnot  $m_1$  a  $m_2$ .
5. Opakováním kroků 2 až 4 dokud není rozdíl  $T$  a  $T'$  menší, než je předdefinovaný parametr  $\Delta T$ .

[1], [8], [10]

## Globální prahování užívající Otsuovu metodu

Při této metodě je na obraz pohlíženo jako na dvě skupiny pixelů s různým rozsahem hodnot intenzity jasu. Nastává však problém, že rozsahy těchto intenzit se obvykle překrývají. Otsuova metoda je založena na vybírání prahu pro separaci obrazu do těchto dvou skupin tak, aby vzájemná odchylka pixelů v každé skupině byla minimální. Z důvodu rozdělení je však zamezena záměna pixelů pozadí od pixelů objektu, přičemž vybírání hodnoty prahu upravuje rozpětí obou skupin. Cílem je vybrat práh, jenž minimalizuje společný rozptyl obou skupin bodů.

Otsuova metoda je jednou z nejpoužívanějších metod binarizace. Pro vysvětlení vnitřní funkce metody je popis algoritmu shrnut do dále zmíněných pěti bodů. Metoda je v této práci podrobněji popsána, z důvodu implementace této metody do systému verifikace binarizačních metod této práce.

1. Rozdělení pixelů do skupin podle hodnoty prahu
2. Výpočet průměrů v každé skupině
3. Umocnění difference průměrů na druhou
4. Vynásobení počtem pixelů v každé skupině
5. Nalezení prahu  $T$ , jenž má maximální hodnotu  $\delta_B^2$

Samotná metoda vychází z předpokladu znalosti komponent histogramu obrazu, tedy celkového počtu pixelů  $n$  v obrazu, známého počtu pixelů  $n_q$  o stejné úrovni jasu  $q$  a  $L$  jakožto nejvyšší možné hodnotě intenzity v obraze. Následuje proces separace, kdy je prahovací hodnotou  $k$  celková množina úrovní intenzity rozdělena do skupin  $C_1$  jež obsahuje podmnožinu úrovní  $[0, 1, 2, 3, \dots, k]$  a skupinu  $C_2$  o úrovních  $[k + 1, \dots, L - 1]$ . Samotná hodnota prahu je určena z nejvyšší vypočtené druhé mocniny koeficientu  $\delta_B^2(k)$  po přepočítání všech  $L$  úrovní intenzity dle níže popsaného matematického vztahu, kde  $P_1(k)$  je počet bodů ve skupině  $C_1$  a obdobně  $P_2(k)$  je počet pixelů ve skupině  $C_2$  výsledkem sumačního počtu poměrných hodnot  $p_i$  pro jednotlivé úrovně intenzit pixelů obrazu. Proměnné  $m_1(k)$  a  $m_2(k)$  nabývají hodnot průměrných úrovní intenzit ve skupinách  $C_1$  a  $C_2$ . Výpočet  $m_G$  celkové průměrné hodnoty úrovní intenzit pixelů obrazu.

$$\delta_B^2(k) = P_1(k)[m_1(k) - m_G]^2 + P_2(k)[m_2(k) - m_G]^2$$

$$p_q = \frac{n_q}{n}, q = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i$$

$$P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i = 1 - P_1(k)$$

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$$

Výše popsaný postup je však velmi výpočetně náročný, proto se častěji k výpočtu využívá  $\delta_B^2(k)$  ekvivalentní vztah:

$$m(k) = \sum_{i=0}^k ip_i$$

$$\delta_B^2(k) = \frac{[m_G P_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1 - P_1(k)]}$$


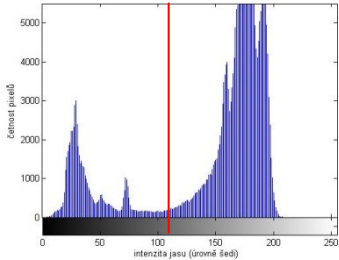


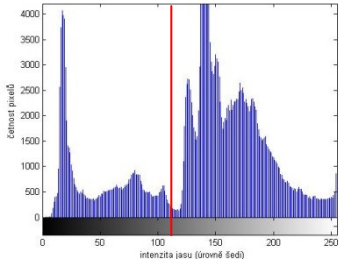

[8]

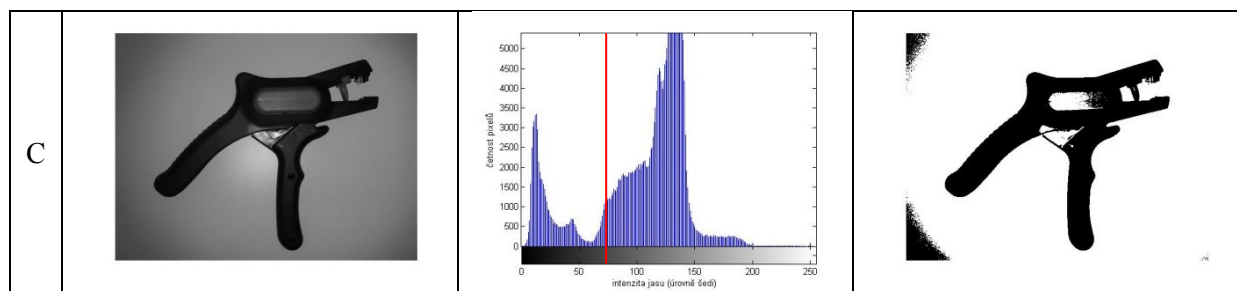
Přestože je tato metoda hodně výpočetně náročná, je velmi účinná, co se proměnlivosti světelných podmínek snímaného vstupního obrazu týče. [1], [8]

V jazyce MatLab lze binarizaci Otsu prahováním vykonat například následujícím kódem použitým v kódu programu systému pro verifikaci obrazu:

```
>>prah=graythresh(I);           %automatické nalezení prahu v MATLABu
implementovanou Otsu metodou
>>T=prah*256;                   %převod hodnoty prahu z intervalu <0;1>
na <0;255>
>>BW=im2bw(I,prah);            %rozdělení pixelů do dvou úrovní dle
úrovně prahu 1(pozadí):{k>T}, 0(objekt):{k<=T}
```

V takovémto kódu představuje znak  $I$  proměnnou, v níž je vložena matice vstupního testovaného obrazu již upraveného do tvaru tzv. grayscale neboli obrazu ve stupních šedi. Této matici obrazu  $I$  je pomocí MatLabu implementované funkce *graythresh()* nalezena hodnota prahu, a to dle popisu funkce v MatLab metodou Otsuova hledání prahu. Protože však takto získaná hodnota prahu je z intervalu  $\langle 0;1 \rangle$  zahrnujícího veškeré odstíny šedi, je pro lepší orientaci a následné vytvoření binárního obrazu  $BW$  pomocí funkce *im2bw()* převést hodnotu prahu do intervalu používaných 256 hodnot, tj.  $T \in \langle 0;255 \rangle$ .

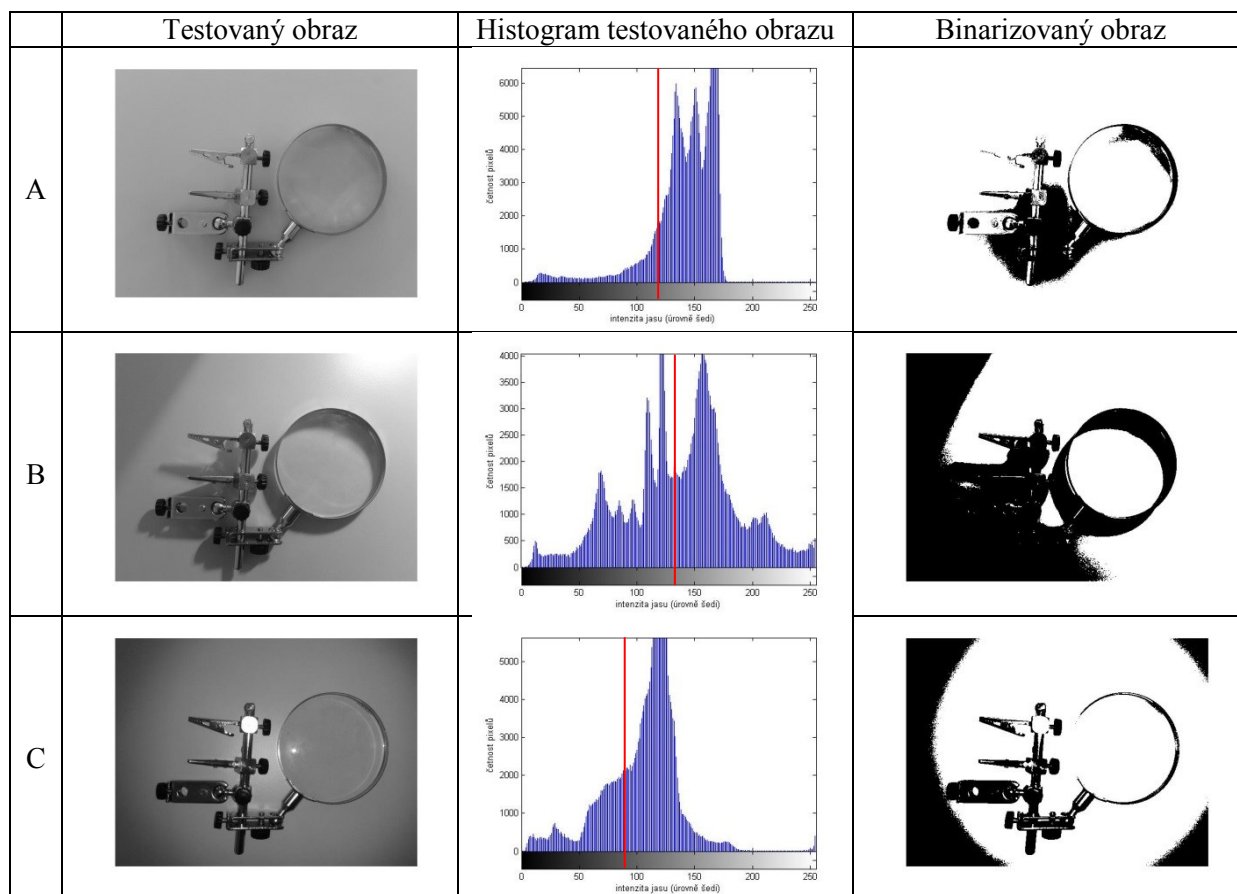
	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			



**Obr. 4** Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):

*A – denní (106,41), B – nepřímé (106,41), C – přímé (75,29)*

Z výsledků binarizace Otsuovou metodou přehledu na **Obr. 4** je zřetelné nalezení prahovací hodnoty umístěné v souladu s teorií nalezení prahu z histogramu, a to v údolí mezi dvěma vrcholy histogramu.


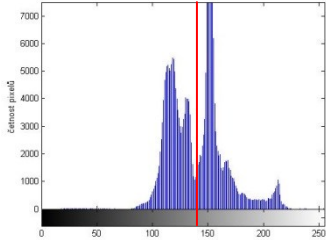
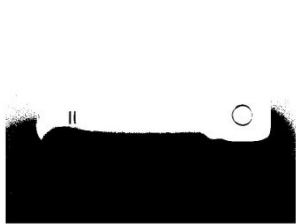

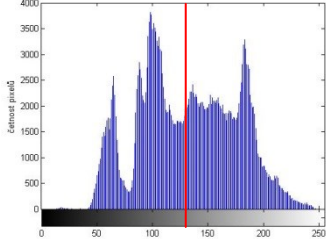
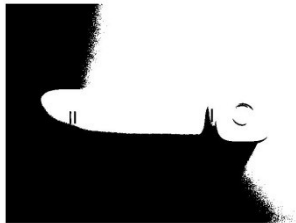

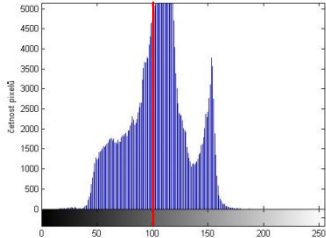
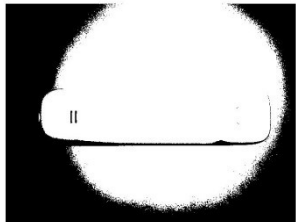


**Obr. 5** Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):

*A – denní (121,47), B – nepřímé (134,52), C – přímé (93,36)*

Výsledky binarizace přehledu na **Obr. 5** zřetelně poukazují na složitost prahování lesklého objektu na světlém pozadí, což je patrné zejména z tvaru histogramu testovaného obrazu a prahovací hodnoty vyhodnocené pomocí Otsuovy metody vyznačené v histogramech červenou úsečkou. Histogramy zobrazené na snímku nabývají povícero maxim, popř. rostou do jediného maxima. Z výsledných binarizovaných obrazů je tedy patrné, že Otsuova metoda binarizuje testované obrazy při denním a přímém osvětlení objektu mnohem lépe než při nepřímém osvětlení.

K takovéto nedostatečné binarizaci dochází z důvodu velkého počtu parazitních stínů, které narušují funkci metody sdružující pixely  $(x, y)$  o minimální vzájemné odchylce jejich hodnot  $f(x, y)$ .

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 6** Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):

*A – denní (138,54), B – nepřímé (132,51), C – přímé (100,39)*

Přestože jsou v histogramech přehledu na **Obr. 6** zřetelná údolí a kopce, Otsuova metoda pixely objektu od pixelů pozadí separovala již z vizuální kontroly zcela nedostatečně. Je tomu tak, neboť není velkých jasových rozdílů mezi objektem a pozadím, proto nedokáže metoda s určitostí zařadit pixely do správných skupin.

## Poměrné prahování

Jedná se o nejjednodušší neiterativní prahovací metodu, kterou lze použít v případě, pokud je známo, jakou část obrazu  $f(x,y)$  zabírá objekt, který je požadován pro oddělení od pozadí. Tato metoda předpokládá znalost dat o zastoupení úrovní jasu ve vstupním obrazu  $f(x,y)$  v barvě odstínů šedi, tedy hodnoty úrovně jasu  $q$  (kdy úrovně jasu  $q$  jsou z intervalu  $(1, 2, 3, \dots, L)$ ) a známého počtu pixelů  $(x,y)$  o stejné úrovni jasu  $n_q$ .

Vstupní hodnotou výpočetního algoritmu je parametr  $c$ , který je  $c$ -násobkem celkové plochy binarizovaného obrazu vyjadřujícím požadovanou část obrazu  $f(x,y)$ . Algoritmus tedy po výpočtu počtu všech pixelů  $(x,y)$  binarizovaného obrazu tuto hodnotu  $n_{x,y}$  vynásobí parametrem  $c$  a takto vzniklý koeficient  $C$  udává hodnotu součtu počtu pixelů vyskytujících se v úrovních jasu  $\langle T, L \rangle$ . Dosažení koeficientu  $C$  lze tak rovněž dosáhnout sumací všech pixelů  $(x,y)$  binarizačního či verifikačního vzoru pruhovaného obrazu.

Algoritmus tedy kontroluje sestupný součet (od nejvyšší úrovně jasu) počtu pixelů o stejné jasové úrovni  $n_q$  označený jako  $N$  aby platilo, že  $N \leq C$ , v případě, kdy hodnota  $N$  na úrovni jasu  $q$  přesáhne hodnotu  $C$ , hodnota úrovně  $q - 1 = T$ , tzn. předchozí jasová úroveň je hledanou úrovní prahu  $T$ .

Samotné použití metody je použitelné pouze v případě, kdy je známa požadovaná plocha obrazce buď poměrem  $c$  vůči celkové ploše objektu, nebo znalostí celkového počtu pixelů objektu v obrazu např. z verifikačního vzoru snímku. Tato metoda však má mnoho nedostatků, co se nerovnoměrného jasového rozpojení i regulace chyb snímaného obrazu týče. Je proto její aplikace nejvhodnější pro aplikace, kdy je dosaženo vysokého kontrastu jasu pozadí od jasu objektu. [10]

V programovacím jazyce MatLab lze binarizaci poměrným prahováním vykonat například následujícím kódem použitým v kódu programu systému pro binarizaci obrazu a její verifikaci:

```
%deklarace funkčních proměnných
Poc_vzor=0;          %počet pixelů objektu ve vzoru
Tx=0;               %index prahové hodnoty z histogramu
sum_counts=0;       %součet počtu pixelů podezřelých z náležitosti k
objektu
%součet všech pixelů náležících objektu ze vzoru
for i=1:vyska
    Poc_pom=sum(Vzor(i,:));
    Poc_vzor=Poc_vzor+Poc_pom;
end
if background==1     %v případě, že objekt je na světlém pozadí
    Poc_vzor=(sumPix)-Poc_vzor; %odčtení počtu světlých pixelů od
celkového počtu pixelů obrazu
end
%výpočet hodnoty prahu T poměrnou kontrolou sum. počtu pixelů
%po sobě následujících úrovní <1;50> pole histogramu a počtu pix.
vzoru
[counts,x]=imhist(I,50); %získání matic úrovní prvků histogramu
%counts... početpixelů na odstín šedi s indexem "x"
%x..... úroveň šedi <0;255> o indexu <1;50>
if background==1     %pro výpočet se světlým pozadím (indexace
%smýčky for od 1 do 50)
    for i=1:50        %50 je délka pole rozlišovaných hodnot
%histogramu
        if sum_counts>Poc_vzor %když je suma součtu větší
```


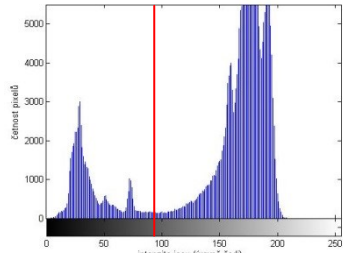

```


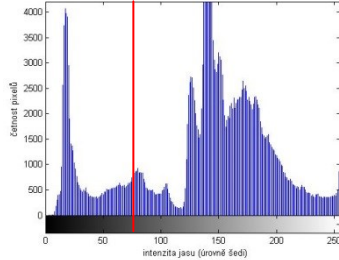


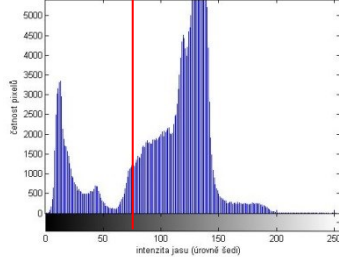
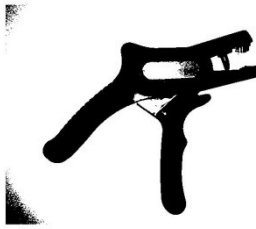
%než suma vzoru
    Tx=i-1; %Uložení předchozí hodnoty
%indexu x-tého prvku(Prahu)
    break %při splnění podmínky %ukončení
smyčky for
    else %není-li podmínka splněna:
%přičítání hodnot aktuálního indexu
    sum_counts=sum_counts+counts(i);
end
end
else %je-li pozadí obrazu tmavé, hledání prahu %od
nejtmavších hodnot
    for i=50:-1:1 %indexace smyčky for od 50 do 1
        if sum_counts>Poc_vzor %když je suma součtu větší
%než suma vzoru
            Tx=i-1; %Uložení předchozí hodnoty
%indexu x-tého prvku(Prahu)
            break %při splnění podmínky %ukončení
smyčky for
            else %není-li podmínka splněna:
%přičítání hodnot aktuálního indexu
                sum_counts=sum_counts+counts(i);
            end
        end
    end
end
T=x(Tx); %Nalezení úrovně jasu prahu dle nalezeného
%indexu Tx
prah=(T/256); %přepočítání úrovně jasu prahu z <0;255> na <0;1>
BW=im2bw(I,prah); %rozdělení pixelů do dvou úrovní dle %úrovně
prahu 1(pozadí):{k>T}, 0(objekt):{k<=T}

```


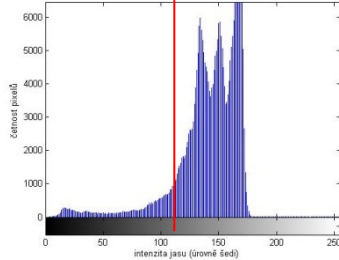
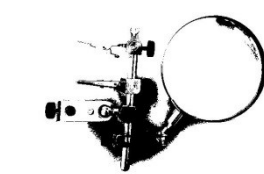

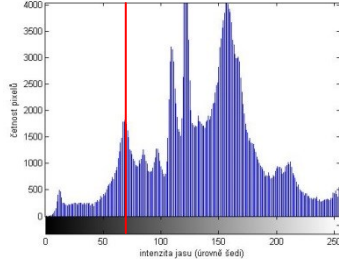
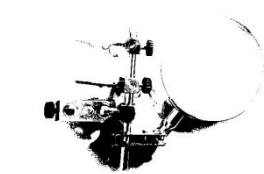
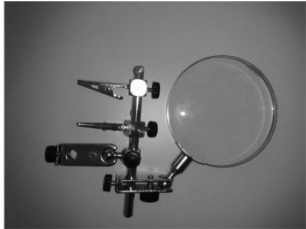
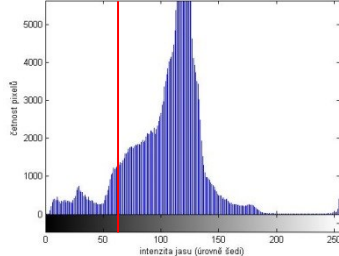
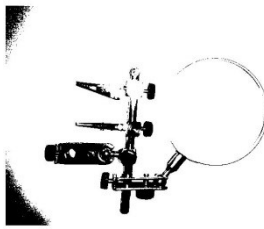
Ve zmíněném řešení metody poměrného prahování začíná kód prostředí MatLab algoritmem zjištění počtu pixelů ( $x, y$ ) náležících objektu matice vzorového obrazu *Vzor* sumací binárních hodnot pixelů po řádcích matice obrazu. Protože je ale kód navržen jak pro zpracovávání obrazů s tmavým pozadím objektu, tak i se světlým pozadím objektu, je součtová hodnota pixelů náležících objektu na světlém pozadí odečtena od sumy veškerých pixelů matice obrazu *sumPix*, aby bylo dosaženo počtu pixelů náležících objektu na světlém pozadí.

Vypočtený počet pixelů  $n_{xy}$  je dále porovnáván v porovnávací smyčce postupně čítající počet pixelů po sobě náležícím jednotlivým jasovým úrovním. V případě, kdy suma počtu pixelů v proměnné *sum\_counts* přesáhne hodnotu proměnné *Poc\_vzor* obsahující počet pixelů  $n_{xy}$ , je číslo předchozího oběhu sumační smyčky  $T_x \in <1; 50>$  právě číslem indexu hodnoty prahu  $T_x$  histogramu. Takto nalezeným prahem je pak vstupní obraz v odstínech šedi binarizován.

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			

B			
C			

**Obr. 7** Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (93,67), B –nepřímé (72,85), C-přímé (72,85)

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 8** Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (114,48), B –nepřímé (67,65), C-přímé (62,44)



	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 9** Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):

*A –denní (119,69), B –nepřímé (93,67), C-přímé (83,26)*

Samotné použití metody je možné v případě, kdy je známa požadovaná plocha obrazce. Tato metoda však má mnoho nedostatků, které jsou zřetelné na binarizaci na **Obr. 7** až **Obr. 9**. Nejvýznamnějším nedostatkem je velká náchylnost nerovnoměrného jasového rozložení objektu na pozadí o velmi malé vzájemné odchylce (kontrastu) jasové úrovně. V případě velkého kontrastu mezi objektem a pozadím je tato metoda již z vizuální kontroly binarizace velmi úspěšná.

## Metoda hysterezního prahování

Tato metoda je specifická zejména svou nezávislostí prahování na pouze jediné úrovni prahu. Metoda je založena, oproti běžným metodám binarizačního prahování o jedné úrovni prahu, na volbě dalšího parametru  $\delta$  – míry hystereze, jehož hodnota by měla být taková, aby  $T - \delta > 0$ . Na základě volby tohoto parametru jsou následně stanoveny dvě prahové hodnoty  $T_{LOW}$  (spodní prahovací hodnota) a  $T_{HIGH}$  (horní prahovací hodnota) podle následujících rovnic.

$$T_{LOW} = T - \delta$$

$$T_{HIGH} = T$$

Hodnoty obrazové funkce  $b_{i,j}$  v jednotlivých bodech  $(i,j)$  žádaného binárního obrazu  $B$  jsou pak přiřazovány na základě následujícího třibodového schématu:

- Je-li hodnota  $y_{i,j} < T_{LOW}$ , potom příslušné hodnotě  $b_{i,j}$  je přiřazena hodnota 0, tedy hodnota pozadí obrazu.
- Je-li hodnota  $y_{i,j} > T_{HIGH}$ , potom příslušné hodnotě  $b_{i,j}$  je přiřazena hodnota 1, tedy hodnota snímaného objektu.
- Spadá-li hodnota  $y_{i,j}$  do intervalu  $< T_{LOW}, T_{HIGH} >$ , je příslušné hodnotě  $b_{i,j}$  přiřazena hodnota 1 pouze v případě, že v daném okolí bodu  $b_{i,j}$  již existuje bod s hodnotou 1. Jinak je příslušná hodnota  $b_{i,j}$  nastavena na 0.

Okolím bodu  $b_{i,j}$  se přitom rozumí body sousedící s daným bodem ve smyslu běžně používaných pojmů 4-sousedství či 8-sousedství v digitálním obraze. Popsaný algoritmus je možno opakovat při použití předchozí obrazové funkce  $b(i,j)$ . Volba všech parametrů tohoto postupu (tj. prahu  $T$ , míry hystereze  $\delta$ , typu okolí a počtu opakování algoritmu) ovšem závisí na aktuálně testovaném obraze. Proto se pro zvolení hodnoty prahu běžně nevyužívá manuálně určené hodnoty, ale hodnoty prahu  $T$  vygenerované pro konkrétní testovaný obraz některou z „chytrých“ prahovacích metod, jako např. často používaná Otsu prahovací metoda.

V případě praktického užití zmíněné hysterezní metody prahování ovšem nemusí následnému zpracovávání vyhovovat tato výše zmíněná od prahové hodnoty  $T$  jednostranně směřovaná míra hystereze. Jsou rovněž možné i modifikace, kdy bude hodnota prahu  $T$  náležet intervalu  $< T_{LOW}, T_{HIGH} >$ , kdy bude  $T$  umístěn v míře hystereze, aniž by byl roven jedné z hysterezních prahových hodnot (např. uprostřed intervalu  $< T_{LOW}, T_{HIGH} >$ ). Touto metodou může být rovněž docíleno požadované přesné binarizační segmentace vstupního testovaného obrazu.

Při prahování využívajícím hysterezi jasových úrovní s ohledem na sousední pixely obrazu je velmi důležitá volba prahovací metody určující práh  $T$ . [8], [9]


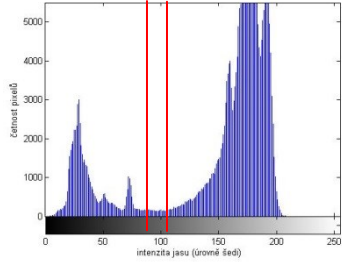


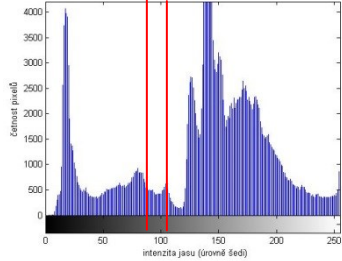


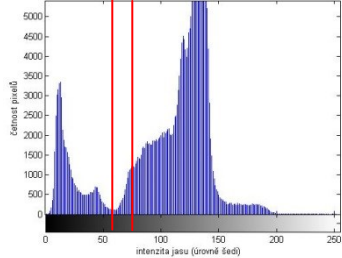
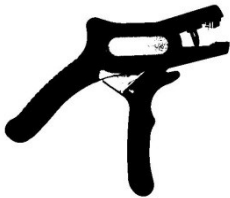
V jazyce MatLab lze binarizaci hysterezním prahováním vycházejícím z Otsuovy metody zvolení výstupního prahu vykonat následujícím kódem.

```
T1=graythresh(I)*256; %Otsu metodou určený hodní práh
d=10;                %míra hystereze
T2=T1-d;             %náhodně (manuálně) určený druhý práh
if T1 < T2            % v případě kdy podmínka nevyhovuje, prohodit
hodnoty T1 a T2
    pom = T1;
    T1 = T2;
    T2 = pom;
end
```


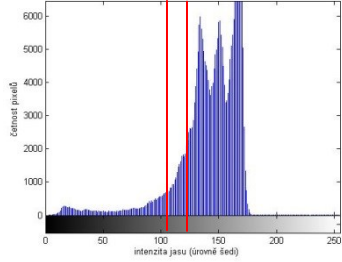
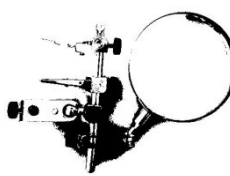

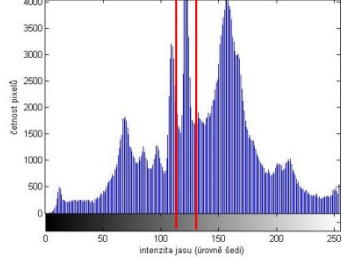

Ve výše popsaném kódu realizace algoritmu binarizující obraz pomocí metody hysterezního prahování vycházejícího z Otsuova prahu je právě prvním krokem získání Otsuova prahu náležitého vstupního testovaného obrazu předzpracovaného do tvaru obrazu ve stupních šedi. Tento práh je pro další funkce a přehlednost programu převeden z intervalu  $T \in < 0; 1 >$  do intervalu  $T \in < 0; 255 >$  tedy pro porovnávání všech jednotlivých dosažených 256 jasových úrovní pixelů. Po určení míry hystereze  $\delta$  (v kódu programu proměnná  $d$ ) a jejího odečtení od Otsuovou metodou získaného prahu je získán práh druhý, tzv. spodní práh. V případě, kdy by byla nevhodně zvolena míra hystereze, je program opatřen prvkem, jenž zajistí, aby horní práh byl vždy vyšší než práh spodní.

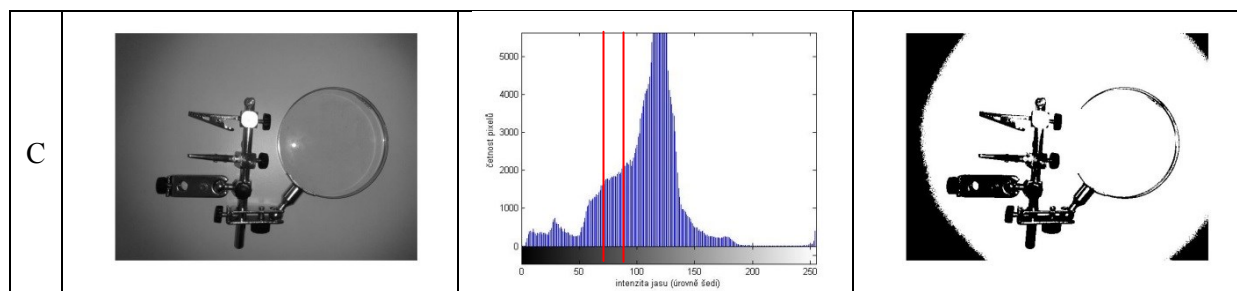
```
nadT2 = I > T2;                % body nad spodní úrovní
[nadT1r, nadT1s] = find(I > T1); % řádky a sloupce nad horní
úrovní
BW = bwselect(nadT2, nadT1s, nadT1r, 8); %kompletace binárního
obrazu kontrolou příslušnosti 8 sousedních bodů
```

V druhé části kódu je zpracování samotného porovnávání hodnot jasu vstupního testovaného obrazu s hodnotami prahovými, a to dle výše v teorii metody popsaných pravidel. Pro nalézání nejvhodnějších bodů je v kódu využito porovnávání hodnot matice testovaného obrazu pomocí logických příkazů a následné dohledávání a třídění pomocí MatLabu implementované funkce *find()*. Konečné vyhotovení takto roztríděného a naprahovaného binárního obrazu je provedeno pomocí MatLabu implementované funkce *bwselect(,,)*.

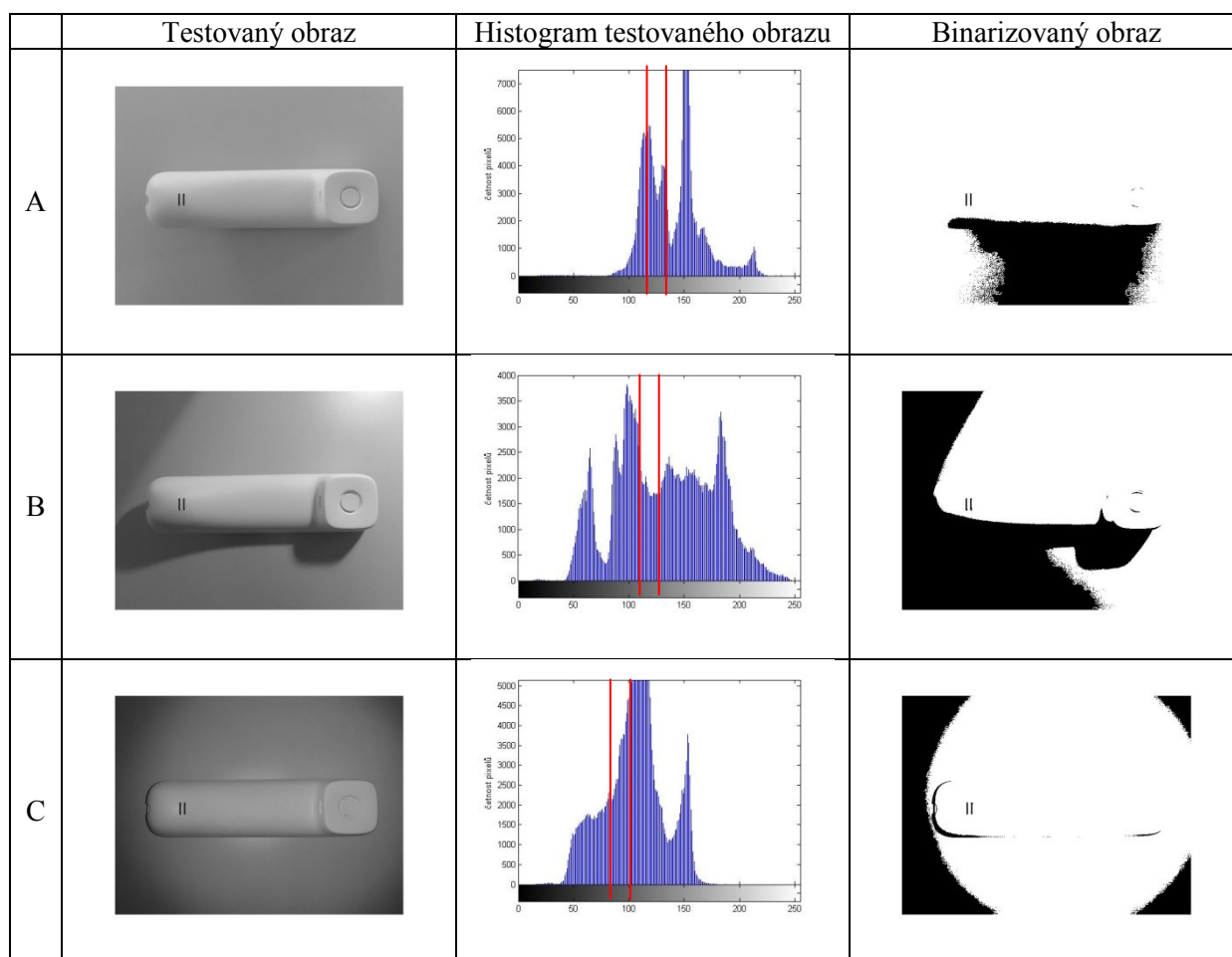
	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			
C			

**Obr. 10** Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysterezního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1$ ;  $T_2$ ):  
*A – denní (106,41; 86,41), B – nepřímé (106,41; 86,41), C – přímé (75,29; 55,29)*

	Testovaný obraz	Histogram testovaného obrazu	Binarizovaný obraz
A			
B			



**Obr. 11** Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysterezního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1$ ;  $T_2$ ):  
*A – denní (121,47; 101,47), B – nepřímé (134,52; 114,52), C - přímé (93,36; 73,36)*



**Obr. 12** Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysterezního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1$ ;  $T_2$ ):  
*A – denní (138,54; 118,54), B – nepřímé (132,51; 112,51), C - přímé (100,39; 80,39)*

Při porovnání binarizačních výsledků přehledů snímků na **Obr. 10** a **Obr. 11** je patrné, že binarizace obrazu pomocí hysterezní metody je u obou testovaných objektů nejvíce chybová při nepřímém osvětlení. Nejméně chybové jsou naopak výsledky jak denního osvětlení objektu na testovaném snímku, tak za přímého osvětlení. Značnější chybovost avšak vysoká citlivost je vizuálně zřetelná ze snímků přímého osvětlení objektu, kde chybovost snímku má na svědomí vysoký kontrast mezi středem snímku a jeho okraji, jenž se pro svou nedostatečnou osvětlenost binarizovaly jako body objektu. Ze scény na **Obr. 12** se světlým objektem na světlém pozadí a podobných homogenně sestavených scén obrazu jsou vizuální kontrolou metody všechny výsledné binarizace velmi špatné.

## Adaptivní prahování

Protože ne u všech obrazů lze použít globálních prahovacích metod, často z důvodu více než jedné prahovací úrovně v údolí mezi kopci histogramu, je nutné použití takzvaného adaptivního prahování.

Při adaptivním prahování je prahovací úroveň šetřeného pixelu závislá na poloze bodu v obrazu.



**Obr. 13** Částečně adaptivně prahovaný obraz o čtvrtinovém adaptivním prahování

Princip adaptivního prahování spočívá v rozdělení matice celkového řešeného obrazu do matice  $m \times n$  submatic (nebo také podmatic, podobrazů) jejímiž členy jsou právě části původního obrazu. Každá z těchto částí musí být přibližně homogenně osvětlena, tedy musí splňovat podmínku malé jasové rozdílnosti všech pixelů náležících pozadí submatice a rovněž malé jasové rozdílnosti všech pixelů náležících objektu submatice, přičemž kontrast mezi úrovněmi jasu pozadí a objektu submatice je co největší. Následně jsou submatice každá jednotlivě podrobena globálnímu prahování, a to často společnou prahovací metodou. Protože rozdělením původního obrazu vznikají obrazy nové a každý z těchto obrazů má originální jasový histogram a každý má odlišnou prahovací úroveň  $T$ . Při adaptivním prahování je rovněž možné dle potřeby zpracovávat jednotlivé části původního obrazu různými metodami, a to dle požadavků na binarizaci aplikace dále zpracující informace z obrazu.



**Obr. 14** Částečně adaptivně prahovaný obraz binarizovaný po  $\frac{1}{16}$  matice obrazu

Jedná se o metodu, jejíž přesnost binarizačního převedení reálného objektu zobrazeného na vstupním obrazu je přímo závislá na počtu zkoumaných rozdělení obrazců jak vyplývá z Obr. 14. Z něhož je zřetelná velká náchylnost metody na nerovnoměrné osvětlení snímaného objektu způsobující často v konečném kontextu výsledného binarizovaného obrazu nesprávně vyhodnocené pixely, neboť pro oblast o nízké rozdílnosti jasových úrovní budou i sebemenší odchylky (např. struktura pozadí) vyhodnoceny jako části objektu při použití běžných „inteligentních“ prahovacích metod, jako např. Otsuova metoda.[1]

$k$  ... počet submatic

$q = \sqrt[3]{k}$  ... dělitel matice  $I$

$a, b$  ... index polohy submatice v matici  $I$  (výška, šířka)

$i, j$  ... index polohy pixelu v submatici (výška, šířka)

$v, š$  ... konstanty rozměrů matice  $I$  (výška, šířka)

$$\sum_{a=1}^q \sum_{b=1}^q \sum_{i=\frac{v}{q}(a-1)+1}^{\frac{v}{q}a} \sum_{j=\frac{š}{q}(b-1)+1}^{\frac{š}{q}b} (I_{ij} = \text{subI } ab_{ij})$$

$$\text{subI } ab_{ij} \xrightarrow[\text{použitou metodou}]{\text{binarizace}} \text{subBW } ab_{ij}$$








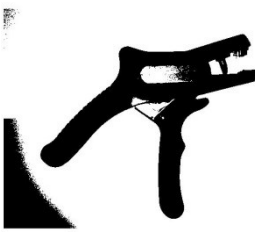
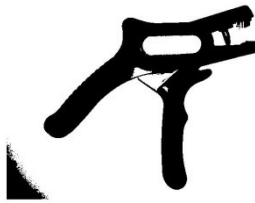
$$BW = \sum_{a=1}^q \sum_{b=1}^q \text{subBW } ab_{ij}$$

Algoritmus metody adaptivního prahování popsany kódem MatLab:

```
%Vstupními parametry kódu je testovaný obraz I (v odstínech šedi),  
%výška a šířka jeho matice v proměnných „vyska“ a „sirka“  
k=4; %počet podobrazů  
T0=0; %proměnná prahu  
q=sqrt(k); %dělitel stran pro rozdělení obrazu  
k_sirka=sirka/q; %šířka podobrazu  
k_vyska=vyska/q; %výška podobrazu  
BW=I; %výsledná matice obrazu  
BWnul=im2bw(BW); %výsledný obraz je binární  
for j=1:q  
    for i=1:q  
%definice lokálních proměnných pro rozdělení obrazu na  
%podobrazy (subBW)  
        low_sirka=(i-1)*k_sirka+1;  
        high_sirka=k_sirka*i;  
        low_vyska=(j-1)*k_vyska+1;  
        high_vyska=k_vyska*j;  
        subBW=BW(low_vyska:high_vyska,low_sirka:high_sirka);  
%vytvoření podobrazu  
        [ subBW, T] = thresholding_method(subBW,m,background);  
%binarizace podobrazu vhodnou metodou  
        BWnul(low_vyska:high_vyska,low_sirka:high_sirka)=subBW;  
%vlození podobrazu do masky výsledného obrazu  
        T0=T0+T; %součet použitých prahů  
    end  
end  
T=T0/k; %průměrná hodnota použitého prahu (pouze orientační  
výstupní hodnota)  
BW=BWnul; %vytvoření výsledného obrazu
```


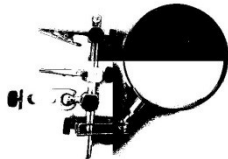
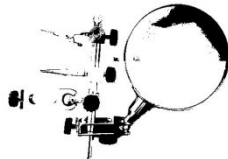



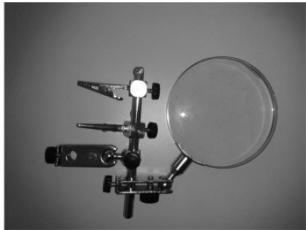
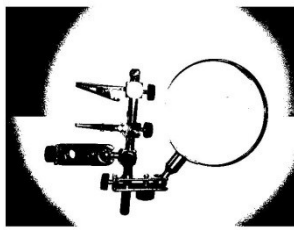
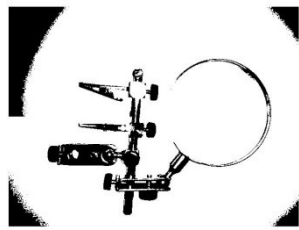
Kód programovacího jazyka MatLab popisující algoritmus řešení adaptivní prahovací metody je složen zejména z kódu dělícího matici řešeného obrazu do  $k$  submatic  $subBW$  o stejných rozměrech, které jsou v každém cyklu smyčky *for* programu řešícím právě jednu submatici během každého průchodu smyčkou po  $k$  opakování (ve výše zmíněném kódu). Počtem opakování smyček lze regulovat počet řešených submatic, lze tak dosáhnout částečně adaptivně prahovaného obrazu. Získaná submatice  $subBW$  je dále vstupním kritériem funkce *[výstupní binarizovaný obraz, práh]=thresholding\_method(submatice, proměnná určení metody, proměnná hodnoty pozadí)*, která obsahuje tři globální binarizační metody.

Funkce *thresholding\_method.m* obsahuje metodu manuální volby prahu, Otsuovu prahovací metodu a hysterezní prahovací metodu mezi kterými je voleno hodnotou proměnné  $m$ . Po průchodu kódu binarizační prahovací funkce zvolenou metodou binarizace jsou výstupní binární submatice nazpět vloženy do výstupní matice binárního obrazu o rozměrech původního testovaného gray-scale obrazu.

	Testovaný obraz	Adaptivně binarizovaný obraz využívající Otsu prahovací metodu	Adaptivně binarizovaný obraz využívající hysterezní prahovací metodu
A			
B			
C			

**Obr. 15** Přehled: Tmavý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C – přímé


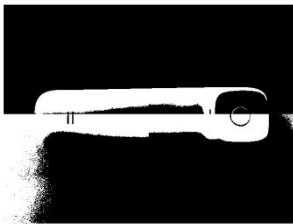
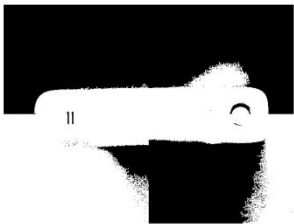

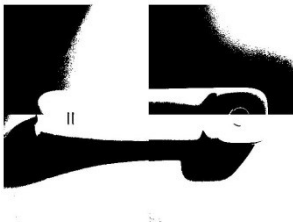
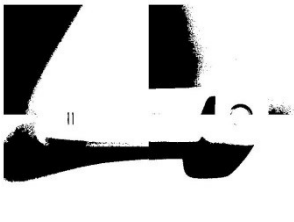

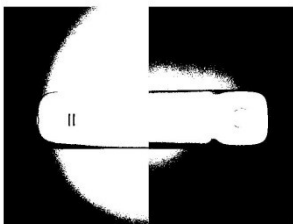
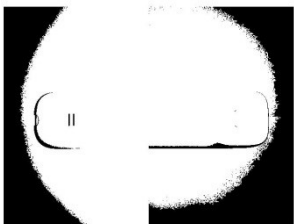


	Testovaný obraz	Adaptivně binarizovaný obraz využívající Otsu prahovací metodu	Adaptivně binarizovaný obraz využívající hysterezní prahovací metodu
A			
B			
C			

**Obr. 16** Přehled: Lesklý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C – přímé

Vizuálním porovnáním výsledků binarizace jednotlivých metod je zřejmé, že adaptivní prahovací metoda je nejefektivnější právě pro objekty splývající ostatním metodám s pozadím, jako je tomu například v přehledu **Obr. 17** se světlým objektem na světlém pozadí. Pro takovéto objekty je ideálním řešením binarizace právě rozdělení na submatice obrazu.

Pro další prezentované vzorky na **Obr. 15** a **Obr. 16** je patrné, že je adaptivní prahování velice efektivním nástrojem, neboť výsledné binární snímky mají velmi malou vizuálně zřetelnou chybovost. Rovněž je z výsledků porovnání sloupců B a C zřejmá menší chybovost objektů adaptivně binarizovaných pomocí hysterezního prahování oproti Otsuovu prahování.

	Testovaný obraz	Adaptivně binarizovaný obraz využívající Otsu prahovací metodu	Adaptivně binarizovaný obraz využívající hysterezní prahovací metodu
A			
B			
C			

**Obr. 17** Přehled: Světlý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C - přímé

Přestože je do kódu řešení zahrnuta i možnost adaptivního prahování manuální metodou, výsledek této metody použité pro globální adaptivní prahování by byl shodný s metodou globálního prahování manuálně voleným prahem. Proto v analýze systému nemá většího významu. Významu manuální prahování pro adaptivní prahování nabývá v případě, kdy je zapotřebí lokálního prahování, jako je tomu např. na **Obr. 13**, na kterém je právě čtvrtina matice řešeného obrazu prahována manuálním prahováním a zbytek snímku metodou Otsuova prahování.

## Binarizace metodou narůstání oblastí

Tato metoda začíná pracovat s malými oblastmi, např. i s jednotlivými pixely, které postupně spojuje do větších oblastí. Dochází tak k narůstání oblastí. Proces se provádí tak dlouho, dokud v obraze existují oblasti, které lze spojovat.

Postup řešení:

Nechť  $R$  reprezentuje celou obrazovou oblast. Segmentaci můžeme chápat jako proces, při kterém se  $R$  rozdělí na  $n$  podoblastí  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  a to tak, že

a)  $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$

b)  $R_i$  je souvislá oblast,  $i = 1, 2, \dots, n$

c)  $R_i \cap R_j = \emptyset$  pro všechna  $i \neq j$

d)  $P(R_i) = TRUE$  pro  $i = 1, 2, \dots, n$

e)  $P(R_i \cap R_j) = FALSE$  pro  $i \neq j$

Kde  $P(R_i)$  je logická operace definovaná na všechny body množiny  $R_i$  a  $\emptyset$  je prázdná množina. Podmínka a) předpokládá, že každý pixel náleží nějaké oblasti. Podmínka b) vyžaduje, aby body oblasti byly souvislé. Podmínka c) signalizuje, že jednotlivé oblasti se nebudou prolínat. Podmínka d) se zabývá vlastnostmi, které musí být splněny pro každý pixel v dané oblasti (např. pixely v oblasti  $R_i$  musejí mít stejnou úroveň šedi). Podmínka e) říká, že oblasti  $R_i$  a  $R_j$  jsou nesouvislé ve smyslu vlastnosti  $P$ .

Proces narůstání oblastí začíná na malé základní množině bodů a na základě předdefinovaných kritérií (a - e) pak dochází k narůstání oblastí. Výběr počáteční množiny bodů je obvykle založen na přirozenosti úlohy. Výběr kritérií, podle kterých jsou jednotlivé pixely přiřazovány jednotlivým oblastem, velmi často závisí na typu obrázku (barva, textura). [1]

## Binarizace metodou dělení oblastí

Tato metoda je opakem k metodě předchozí. Začíná pracovat s jedinou oblastí tvořenou celým obrazem a dále se provádí její dělení na dílčí části. Proces se provádí tak dlouho, dokud není ve všech vzniklých oblastech dosaženo splnění kritéria homogenity.

Např.: necht'  $R$  reprezentuje celou obrazovou oblast, na níž platí tvrzení  $P$ . Jedním přístupem je segmentovat  $R$  dělením oblasti na menší a menší kvadranty tak, aby pro libovolnou oblast  $R_i$  platilo, že  $P(R_i) = TRUE$ . Začneme s celou obrazovou oblastí. Jestliže  $P(R_i) = FALSE$  rozdělíme oblast na kvadranty. Jestliže  $P$  je  $FALSE$  pro libovolný kvadrant, rozdělíme tento kvadrant na podkvadranty atd.

Postup:

1. Rozdělení do čtyř samostatných kvadrantů libovolné oblasti  $R_i$ , pro kterou  $P(R_i) = TRUE$

2. Spojení přilehlých oblastí  $R_j$  a  $R_k$ , pro které platí  $P(R_j \cup R_k) = TRUE$ .

3. Zastavení procesu dělení oblastí pokud další rozdělení nebo spojení oblastí není možné.[1]

## **Návrh systému pro analýzu a binarizaci metodami úpravy obrazového signálu**

Samotný systém je řešen jako větvená funkce prostředí MatLab, která udává uživateli možnost nahrání testovaného obrazu a jeho verifikačního vzoru (ideální požadované podoby obrazu po binarizaci). Uživatel pak po spuštění a dokončení programu získá data vypsaná do okna Command Window prostředí MatLab o neúspěšnosti binarizace implementovaných metod aplikovaných pro binarizaci vstupního obrazu.

Větvená struktura systému spočívá ve volání hlavního kódu programu na funkce binarizačních metod obsažených v externích souborech kódů. Názorně je struktura systému a funkce jednotlivých částí kódu popsána ve vývojovém diagramu systému.

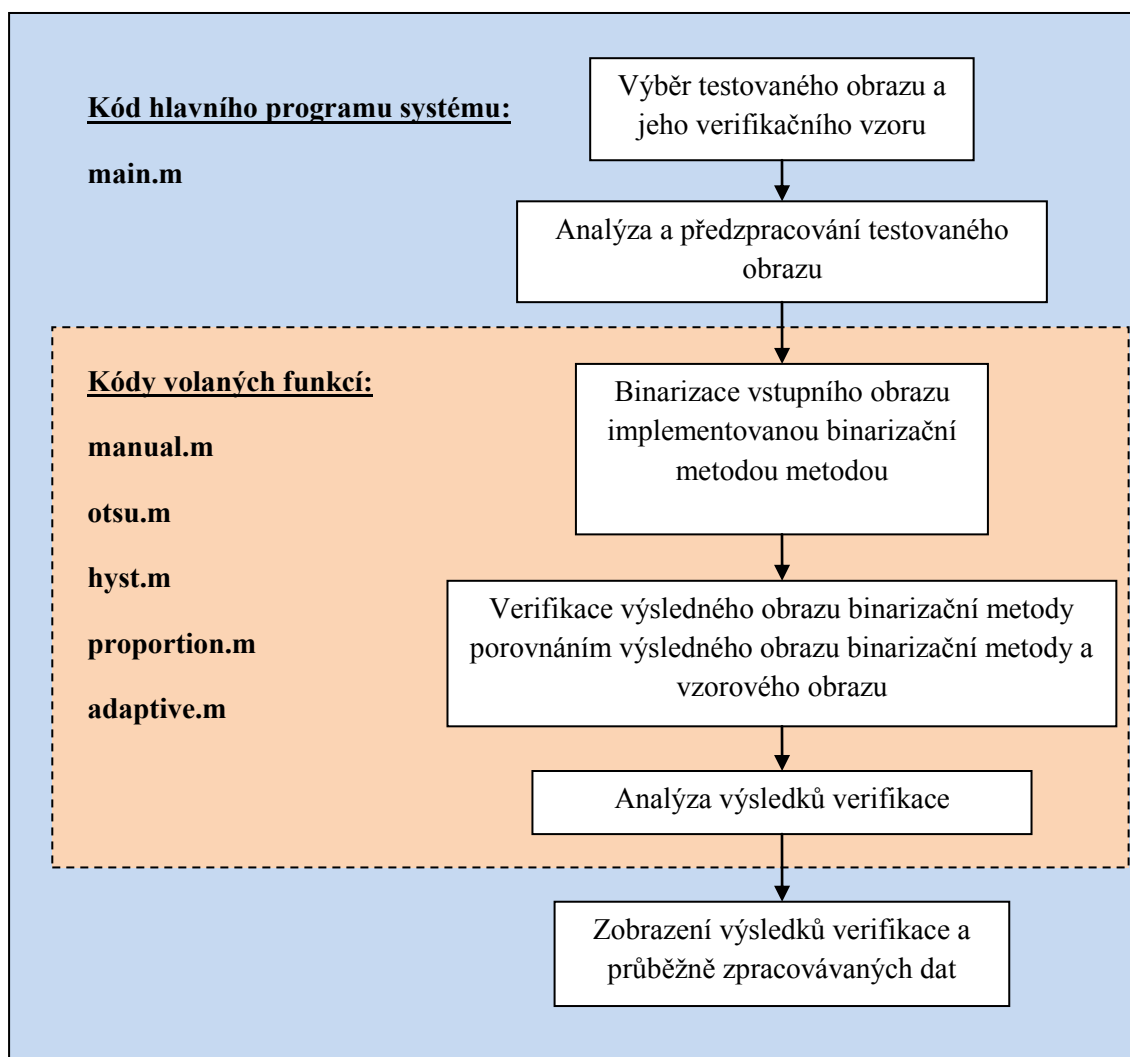
Po nastavení vstupních obrazů systému společně s nastavením vstupní proměnné udávající verifikačnímu systému barvu pozadí objektu zobrazeného na vstupním testovaném obrazu následuje předzpracování testovaného vstupního barevného obrazu s jeho následnou analýzou. Předzpracovaný obraz - převodem barevného testovaného obrazu na obraz o 256 odstínech šedi - je dále binarizován souborem v systému implementovaných metod.

Implementovanými metodami systému jsou: metoda binarizace pomocí manuálně voleného prahu, pomocí prahu nalezeného Otsuovou metodou, hysterezního prahování vycházejícího z prahu Otsuovy metody, poměrného prahování a metoda adaptivního prahování využívající výše zmíněných implementovaných metod manuální volby prahu, Otsuova a hysterezního prahování.

Verifikace implementovaných binarizačních metod je dále prováděna algoritmem porovnávajícím pixely binarizovaného obrazu s pixely verifikačního vzoru, kdy jsou pixely diferenční od pixelů verifikačního vzoru vyhodnoceny jakožto chybové pixely, které jsou posléze vyhodnocované v analýze verifikace.

Výstupními daty verifikačního systému tedy jsou: počet chybně binarizovaných pixelů obrazu binarizovaného danou implementovanou metodou a hodnota procentuální neúspěšnosti testované binarizační metody.

Vývojový diagram programu systému pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu:



*Obr. 18 Vývojový diagram programu systému pro binarizaci a následnou verifikaci implementovaných metod*

# Realizace systému pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu implementací do SW

## Řešení práce

Systém verifikace je řešen kódem:

```
%=====Verifikace=====
if background==1                                %pro světlé pozadí v obraze I
    Dif=BW-Vzor;                                %odečet vzoru a výlsedku binarizační
metody
%paralelní výpočty pro ustálení hodnot jasu pixelů výsledného
%verifikačního obrazu (tmavé pix. jsou chybové, tedy pozitivní)
    for i=1:vyška
        parfor j=1:sírka                        %paralelní výpočet (podstatně
rychlejší než-li sériový)
            if Dif(i,j)>nul(i,j) || Dif(i,j)<nul(i,j) %pozitivní
podmínka nenulové hodnoty
                Dif(i,j)=0;                      %hledané deviantní pixely budou tmavé
            else
                Dif(i,j)=1;
            end
        end
    end
else                                              %pro tmavé pozadí platí:
    Dif=BW+Vzor;                                %odečet vzoru a výlsedku binarizační
metody
%paralelní výpočty pro ustálení hodnot jasu pixelů výsledného
%verifikačního obrazu (tmavé pix. jsou chybové, tedy pozitivní)
    for i=1:vyška
        parfor j=1:sírka                        %paralelní výpočet (podstatně
rychlejší než-li sériový)
            if Dif(i,j)==nul(i,j) || Dif(i,j)==2 %negativní podmínka
                Dif(i,j)=1;
            else
                Dif(i,j)=0;                      %hledané deviantní pixely budou tmavé
            end
        end
    end
end
end
```

Funkcí první části kódu je verifikační algoritmus postupně porovnávající jednotlivé pixely výsledného obrazu testované binarizační metody (aktuální hodnoty  $f(x, y)$  členů matice  $BW$ , tedy  $f(j, i)$ ) a pixelů verifikačního vzoru, distribuovaného maticí  $Vzor$ , o souhlasných souřadnicích  $g(x, y)$  tj.  $g(j, i)$  v matici obrazu. Algoritmus je rozdělen podmínkou pro řešení verifikace obrazu v závislosti na vstupní proměnné  $background$  nabývající pro světlé pozadí testovaného obrazu i verifikačního vzoru hodnoty 1, pro tmavé pozadí hodnoty 0.

Verifikace pro světlé pozadí je řešena odečtením matic  $BW - Vzor = Dif$  za vzniku jejich diferenční matice  $Dif$ . Hodnoty členů  $d(j, i)$  matice  $Dif$  jsou dále podmíněny podmínkou kontrolující, zda hodnota členu matice  $d(j, i) = 1$ ; jestliže ano, jedná se o pixel chybně vyhodnocený binarizační metodou za pixel náležící do pozadí nebo objektu. Obdobně složené podmínce je podmíněna matice  $Dif$  naplněná hodnotami po výpočtu  $Dif = BW + Vzor$  pro výpočet diferenční matice verifikace

obrazů o tmavém pozadí. Po pozitivním průchodu podmínky je chybový pixel naplněn stavem, kdy  $d(j,i) = 0$ , v opačném případě  $d(j,i) = 1$ . Po zobrazení podmínkou otestované matice *Dif*, jakožto binárního obrazu, budou tedy chybové pixely vyobrazeny černou barvou, pixely vyhodnocené správně binarizační metodou pak barvou bílou.

```
%=====Analyza verifikace=====
Pocet=0;
for i=1:vyska
    P_poc=sum(Dif(i,:));
    Pocet=Pocet+P_poc;           %počet bezchybových pixelů
end
Pocet=(sumPix)-Pocet;           %počet hledaných chybových pixelů metody
Proc=Pocet/(sumPix)*100;       %procentuální vyjádření chybných pixelů v
obrazu
end
```

Druhá část kódu verifikace zabývající se analýzou verifikace je pak tvořena sumačním kódem sčítajícím hodnoty pixelů matice *Dif* po řádcích. Výsledkem je pak počet veškerých bezchybně binarizační metodou vyhodnocených pixelů. Tento výsledek je posléze odečten od celkového počtu pixelů v matici obrazu a uložen do proměnné *Pocet* udávající sumu chybně vyhodnocených pixelů matice obrazu. Z podílu hodnoty proměnné *Pocet* a proměnné *sumPix*, udávající celkový počet pixelů v matici obrazu, je vypočtena procentuální chyba binarizační metody.

Celý výše vypsáný kód verifikace je obsažen pro přehlednost celkového kódu programu v kódu každé z binarizačních metod. Její výsledné hodnoty jsou tak získány kódem hlavního programu po dokončení kódu hlavním programem volané funkce binarizační metody.

## Srovnání analyzovaných výsledků s teoretickými předpoklady

Pro účely měření v rámci této práce bylo užito vstupních obrazů o rozměrech  $480 \times 640$  pixelů. Každý z testovaných snímků tak měl 307200 pixelů.

Cílem vyhodnocení výsledků verifikace je nalezení nejpoužitelnější binarizační metody pro testovanou scénu obrazu z programové části práce implementovaných binarizačních metod. Vycházejí z předpokladu, že obraz je správně binarizován právě tehdy, kdy je jeho chybovost vůči verifikačnímu vzoru menší než 10% plochy testovaného obrazu (kritérium chybovosti může být zpřísněno dle nároků na přesnost binarizace), jsou v následujícím textu popsány jednotlivé výsledky analýzy verifikace metod binarizace testované na osmnácti různých obrazech simulujících možné scény binarizovaného obrazu.

### Analýza verifikace výsledků binarizace implementovaných metod na testované obrazy

#### Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení

*Tab. 1 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
Manuální	$T=100$	2331	0.75%
Otsu	$T=106.41$	2485	0.80%
Hysterezní	$T1=106.41, T2=86.41$	3044	0.99%
Poměrné	$T=93.67$	2466	0.80%
Adaptivní-Otsu.	$T=106.67$	2602	0.84%
Adaptivní-Hyst.	$T=86.67$	2392	0.77%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 1.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 1** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení je nejvhodnější binarizační metodou metoda manuálního prahování využívající prahu  $T = 100$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru 2331 pixelů, tedy 0,75% z počtu všech pixelů matice testovaného obrazu.

Vezme-li se v úvahu aplikovatelnost metody manuální volby globálního prahu obrazu dle informací obsažených v kapitole teoretického rozboru metody, není tato binarizační metoda zcela nejvhodnějším řešením. Proto je pro řešení binarizace testovaného obrazu nejlepší aplikovatelnou automatizovanou binarizační metodou metoda adaptivního prahování dělící binarizovaný obraz do čtyř jednotlivě binarizovaných podobrazů. Pro binarizaci každého z podobrazů je užito binarizační metody využívající hystereze vycházející z hodnoty prahu Otsuovy prahovací metody, jejíž neúspěšnost činí 2392 chybně vyhodnocených pixelů, tzn. pouze 0,77% z celku.

Protože jsou ale chybovosti všech metod velmi malé, tedy do 1% chyby vyhodnocených pixelů z obrazu, jsou všechny binarizační metody použité pro testovaný snímek obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení vyhovující pro implementaci v aplikacích zpracovávání obrazu při obdobných světelných a kontrastních podmínkách zachyceného a následně zpracovávaného obrazu.



Nízká chybovost metod je způsobena rovnoměrným rozložením osvětlení na ploše celého testovaného obrazu, tj. bez vzniku tmavých stínů navyšujících chybovost vyhodnocení a vysokým kontrastem jasu objektu a jeho pozadí.

### Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení

*Tab. 2 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	18944	6.16%
<b>Otsu</b>	T=106.41	21532	7.01%
<b>Hysterezní</b>	T1=106.41, T2=86.41	16451	5.35%
<b>Poměrné</b>	T=72.85	15883	5.17%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=105.66	16821	5.47%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	<b>T=85.67</b>	<b>14130</b>	<b>4.59%</b>

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 1.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 2** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení je nejvhodnější binarizační metodou metoda adaptivního prahování dělící binarizovaný obraz do čtyř jednotlivě binarizovaných podobrazů. Pro binarizaci každého z podobrazů je užito binarizační metody využívající hystereze vycházející z hodnoty prahu Otsuovy prahovací metody. Pro binarizaci tak bylo užito čtyř prahů, jejichž průměrná hodnota je  $T = 85,67$ . Chyba vyhodnocení pixelů nejúspěšnější binarizační metody binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru tak činí 14130 pixelů, tedy 4,59% z počtu všech pixelů matice testovaného obrazu.

Zvýšená chybovost vyhodnocení obrazu pomocí implementovaných binarizačních metod aplikovaných na obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení se pohybuje v rozmezí (4,59 – 7,01%). Výsledné binarizované obrazy jsou tak spolu s vizuální kontrolou výsledků v příloze výsledků č. 1.2 a jejich chybou vyhodnocených pixelů do 10% plochy matice obrazu možné uznat za vcelku zdařilé. Implementované metody tak mohou být doporučeny pro vyhodnocení obdobně sestavených scén vyobrazených v kontrolovaném obrazu, jako je tomu v případě testovaného obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení.

### Obraz s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení

*Tab. 3 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	46734	15.21%
<b>Otsu</b>	T=75.29	13685	4.45%
<b>Hysterezní</b>	<b>T1=75.29, T2=55.29</b>	<b>9097</b>	<b>2.96%</b>
<b>Poměrné</b>	T=72.85	11089	3.60%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=78.80	24070	7.83%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=58.80	13627	4.43%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 1.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 3** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení je nejvhodnější binarizační metodou metoda globálního hysterezního prahování využívající hystereze vycházející z hodnoty prahu Otsuovy prahovací metody a míry hystereze  $d = 20$ . Pro binarizaci tak bylo užito dvou prahovacích úrovní  $T_1 = 75,29, T_2 = 55,29$ . Chyba vyhodnocení pixelů nejúspěšnější binarizační metody binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru tak činí 9097 pixelů, tedy 2,96% z počtu všech pixelů matice testovaného obrazu.

V případě dalších metod o horších výsledcích verifikace binarizace testovaného obrazu obsažených v tabulce **Tab. 3** je dále po vizuální kontrole výsledných obrazů (viz. Příloha výsledků verifikace č. 1.3) zřejmé, že metody nebyly schopny zcela bezchybně binarizovat chyby přímého osvětlení obrazu, tedy od středu snímku postupně se snižující jas osvětlení pozadí objektu. Všechny metody, vyjma metodu binarizace manuálním prahováním o prahu  $T = 100$  o chybovosti 15,21% plochy obrazu, dosáhly chybovosti v rozmezí  $\{2,96 - 7,83\}$ , tj. bylo by možné uvažovat o jejich aplikaci pro binarizaci obdobně sestavené scény, jako je tomu na testovaném obrazu s vyobrazeným tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení.

### **Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení**

*Tab. 4 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	<b>T=100</b>	<b>19657</b>	<b>6.39%</b>
<b>Otsu</b>	T=121.47	33428	10.88%
<b>Hysterezní</b>	T1=121.47, T2=101.47	19816	6.45%
<b>Poměrné</b>	T=114.48	25245	8.21%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=124.48	44731	14.56%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=104.48	24056	7.83%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 2.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 4** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda manuálního prahování využívající prahu  $T = 100$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 19657 pixelů, tedy 6,39% všech pixelů matice testovaného obrazu.

Vezme-li se v úvahu aplikovatelnost metody manuální volby globálního prahu obrazu dle informací obsažených v kapitole teoretického rozboru metody, není tato binarizační metoda pro aplikaci v automatizaci zcela nejvhodnějším řešením. Proto je pro řešení binarizace testovaného obrazu pro tzv. inteligentní aplikace zpracovávání obrazu nejlepší aplikovatelnou binarizační metodou v automatizaci metoda globálního hysterezního prahování vycházející z hodnoty prahu Otsuovy prahovací metody a míry hystereze úrovní  $d = 20$ . Pro hysterezní prahování testovaného obrazu je použito dvou prahovacích úrovní  $T_1 = 121,47, T_2 = 101,47$ . Neúspěšnost metody činí 19816 chybně vyhodnocených pixelů tedy 6,45% celku, dosahuje tak téměř stejného výsledku jako absolutně nejlépe vyhodnocená metoda nastavení prahovací úrovně manuálně.

Dle splnění podmínky 10% kritéria analýzy verifikace jsou rovněž vhodnými binarizačními metodami pro testovaný obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení a jemu

podobné obrazy metody globálního prahování manuální volbou prahu, hysterezním prahováním a poměrným prahováním společně s metodou adaptivního prahování využívající hysterezního prahování.

### **Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení**

*Tab. 5 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	44500	14.48%
<b>Otsu</b>	T=134.52	117591	38.27%
<b>Hysterezní</b>	T1=134.53, T2=114.52	68788	22.39%
<b>Poměrné</b>	<b>T=67.65</b>	<b>28277</b>	<b>9.21%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=120.21	75597	24.60%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=100.21	55335	18.01%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 2.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 5** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda poměrného prahování využívající prahu  $T = 67,65$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 28277 pixelů, pouze 9,21% všech pixelů matice testovaného obrazu. S takovou chybou binarizace, metodou globálního poměrného prahování, tedy jako jediná z implementovaných metod dosahuje chyby do 10% nesprávně vyhodnocených pixelů obrazu. Proto je vyhodnocena jakožto jediná použitelná metoda pro řešení binarizace podobných scén obrazů, jako je tomu v případě testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení.

Velká chybovost binarizačních metod je způsobena lesklým povrchem objektu, tedy jeho vysokou odrazivostí způsobující splývavost objektu s pozadím, to znamená zanedbatelným kontrastem jasu pixelů objektu a pozadí. Významným faktorem chybného vyhodnocení obrazu je rovněž nepřímé osvětlení, jehož užitím je způsobeno mnoho zanedbatelných stínů, jejichž pixely jsou pak binarizačními metodami chybně vyhodnoceny jako pixely náležící skupině pixelů objektu.

### **Obraz se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení**

*Tab. 6 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s lesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	79436	25.85%
<b>Otsu</b>	T=93.36	66719	21.71%
<b>Hysterezní</b>	T1=93.36, T2=73.36	34564	11.25%
<b>Poměrné</b>	<b>T=62.44</b>	<b>21191</b>	<b>6.89%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=96.62	70416	22.92%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	Práh T=76.62	34326	11.17%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 2.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 6** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda poměrného prahování využívající prahu  $T = 62,44$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 21191 pixelů, tedy 6,89% všech pixelů matice testovaného obrazu. S takovou chybou binarizace metodou globálního poměrného prahování tedy jako jediná z implementovaných metod dosahuje chyby do 10% nesprávně vyhodnocených pixelů obrazu. Proto je vyhodnocena obdobně, jako je tomu při téže scéně o nepřímém osvětlení, jako jediná použitelná metoda pro řešení binarizace podobných scén obrazů, jako je tomu v případě testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení.

V případě, kdy by uživatele při binarizaci a následném zpracování obrazu nezajímaly implementovanými metodami chybně vyhodnocené okrajové části obrazu, zejména pak rohy testovaného obrazu, je z vizuální kontroly výsledných snímků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 2.3) zřejmé, že pixely náležící objektu byly všemi metodami správně vyhodnoceny a mohly by tak být aplikovatelné. Veškerou chybovost metod tak způsobuje nerovnoměrné osvětlení obrazu způsobující tmavé oblasti v okrajových částech obrazu.

### **Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení**

*Tab. 7 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení:*

<b>Metoda</b>	<b>Hodnota použitého prahu</b>	<b>Počet chybových pixelů</b>	<b>Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu</b>
<b>Manuální</b>	<b>T=100</b>	<b>66358</b>	<b>21.60%</b>
<b>Otsu</b>	T=138.54	167342	54.47%
<b>Hysterezní</b>	T1=138.54, T2=118.54	117207	38.15%
<b>Poměrné</b>	T=119.69	120189	39.12%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=155.11	268320	87.34%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=135.11	226614	73.76%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 3.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 7** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda prahování využívající manuálně voleného prahu  $T = 100$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 66358 pixelů, to jest 21,6% všech pixelů matice testovaného obrazu. Přestože dosahuje metoda nejmenší chybovosti z implementovaných metod, nesplňuje kritérium chybovosti do 10% plochy obrazu, není tak použitelná pro uspokojující binarizaci obrazu.

Nepoužitelnost metod pro binarizaci obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení je zřetelná nejen z výsledků analýzy verifikace v tabulce **Tab. 7**, ale také z vizuální kontroly výstupních obrazů binarizačních metod a jejich výsledné verifikace vůči verifikačnímu vzoru uvedených v příloze výsledků verifikace č. 3.1. Nesprávné vyhodnocení objektu vůči pozadí je způsobeno tím, že pixely objektu nabývají velmi podobných jasových úrovní než pixely použitého světlého pozadí. Dochází tak k téměř nemožnému určení úrovně prahu a následnému chybnému rozpoznání skupiny pixelů náležící objektu od skupiny náležící pozadí objektu.

## Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení

*Tab. 8 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	126436	41.15%
<b>Otsu</b>	T=132.51	186502	60.71%
<b>Hysterezní</b>	T1=132.51, T2=112.51	160916	52.38%
<b>Poměrné</b>	<b>T=93.67</b>	<b>108723</b>	<b>35.39%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=125.49	157435	51.24%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=105.49	131541	42.81%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 3.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 8** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda poměrného prahování prahu  $T = 93,67$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 108723 pixelů, tedy 35,39% všech pixelů matice testovaného obrazu.

Přestože dosahuje metoda nejmenší chybovosti z implementovaných metod, nesplňuje kritérium chybovosti do 10% plochy obrazu. Není tak použitelná pro uspokojující binarizaci obrazu. Protože jsou procentuální chyby verifikace metod v intervalu (35,39 – 60,71%) příliš vysoké a z vizuální kontroly výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 3.2) je obraz špatně binarizován, je binarizace obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení obdobně, jako tomu bylo v případě obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení velmi špatná, pro automatizaci téměř nepoužitelná.

## Obraz se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení

*Tab. 9 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	169114	55.05%
<b>Otsu</b>	T=100.39	173379	56.43%
<b>Hysterezní</b>	<b>T1=100.39, T2=80.39</b>	<b>118051</b>	<b>38.42%</b>
<b>Poměrné</b>	T=83.26	121569	39.57%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=108.92	230913	75.16%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=88.92	149000	48.50%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 3.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 9** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního hysterezního prahování užívající Otsuova prahu s mírou hystereze  $d = 20$ , tedy dvou prahovacích úrovní  $T1 = 100,39$  a  $T2 = 80,39$ . Metoda tak testovaný obraz binarizuje s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 118051 pixelů, tj. 38,42% pixelů matice testovaného obrazu.

Přestože uvedená metoda binarizace globálním hysterezním prahováním dosahuje nejmenší chybovosti z implementovaných metod, nesplňuje kritérium chybovosti do 10% plochy obrazu, není tak použitelná pro uspokojující binarizaci obrazu. Protože jsou procentuální chyby verifikace metod v intervalu (38,42 – 75,16%) příliš vysoké a z vizuální kontroly výstupních binárních obrazů metod je zřetelná neschopnost oddělení obrazu od objektu, stejně jako u podobných snímků při denním i nepřímém osvětlení, jsou výstupní binární obrazy testovaných metod nepoužitelné. A to zejména pro vstupní obrazy o scéně obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při jakémkoli osvětlení.

### **Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení**

*Tab. 10 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení:*

<b>Metoda</b>	<b>Hodnota použitého prahu</b>	<b>Počet chybových pixelů</b>	<b>Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu</b>
<b>Manuální</b>	T=100	237770	77.39%
<b>Otsu</b>	T=138.54	141953	46.20%
<b>Hysterezní</b>	T1=158.54, T2=138.54	137736	44.83%
<b>Poměrné</b>	T=150.91	94156	30.64%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=156.36	88911	28.94%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	<b>T=156.36</b>	<b>79004</b>	<b>25.71%</b>

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 4.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 10** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda adaptivního prahování dělicího testovaný binarizovaný obraz do čtyř podobrazů, jejichž binarizace je jednotlivě prováděna hysterezní metodou prahování užívající Otsuova prahu s mírou hystereze  $d = 20$ . Metoda tak testovaný obraz binarizuje s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 79004 pixelů, tedy 25,71% pixelů matice testovaného obrazu. Metoda tak nesplňuje kritérium 10% tolerance chybovosti, není proto použitelná pro efektivní binarizaci obrazu použitelnou pro binarizaci v automatizaci.

Protože se chybovost metod pro testovaný obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení nalézá v rozmezí (25,71 – 77,39%), je zřetelná nepoužitelnost použitých binarizačních metod pro obrazy podobných scén, jako je tomu v případě testovaného binarizovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení. Neschopnost prahovacích metod nalézt vhodný práh pro rozdělení pixelů objektu od pixelů pozadí je způsobeno malým kontrastem mezi jasy obou těchto skupin pixelů.

## Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení

*Tab. 11 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	239475	77.95%
<b>Otsu</b>	T=168.65	74600	24.28%
<b>Hysterezní</b>	<b>T1=188.65, T2=168.65</b>	<b>69611</b>	<b>22.65%</b>
<b>Poměrné</b>	T=166.53	77440	25.20%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=149.08	114515	37.27%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=149.08	103545	33.70%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 4.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 11** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního hysterezního prahování užívající Otsuova prahu s mírou hystereze  $d = 20$ . Metoda tak testovaný obraz binarizuje prahy  $T1 = 188,65$  a  $T2 = 168,65$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 69611 pixelů, tedy 22,65% pixelů matice testovaného obrazu. Metoda tak stejně jako zbylé metody s chybovostí vyhodnocení v rozmezí  $\langle 24,28 - 77,95\% \rangle$  nesplňuje kritérium 10% tolerance chybovosti, není proto použitelná pro efektivní binarizaci obrazu použitelnou pro binarizaci v automatizaci.

Z důvodů neuspokojivých výsledků binarizačních metod pro obrazy podobných scén jako je tomu v případě testovaného binarizovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení, jsou testované binarizační metody nepoužitelné pro efektivní binarizaci takovýchto scén. Neschopnost prahovacích metod nalézt vhodný práh pro rozdělení pixelů objektu od pixelů pozadí je způsobeno malým kontrastem mezi jasy obou těchto skupin pixelů.

## Obraz s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení

*Tab. 12 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	60476	19.68%
<b>Otsu</b>	T=96.37	61354	19.97%
<b>Hysterezní</b>	<b>T1=116.37, T2=96.37</b>	<b>60432</b>	<b>19.67%</b>
<b>Poměrné</b>	T=93.67	62245	20.26%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=94.87	61990	20.17%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=94.87	61008	19.85%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 4.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 12** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního hysterezního prahování užívající Otsuova prahu s mírou hystereze  $d = 20$ . Metoda tak testovaný obraz binarizuje prahy  $T1 = 116,37$  a  $T2 = 96,37$

s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 60432 pixelů, tzn. 19,67% pixelů matice testovaného obrazu. Metoda tak stejně jako zbývající metody s chybovostí vyhodnocení v rozmezí (19,68 – 20,26%) nesplňuje kritérium 10% tolerance chybovosti, není proto použitelná pro efektivní binarizaci obrazu použitelnou pro binarizaci v automatizaci. Po vizuální kontrole výsledků binarizace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 4.3) je zřejmé, že jsou výsledky téměř nepoužitelné.

Chybovost vyhodnocení pixelů objektu od pixelů náležících pozadí je v případě obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení způsobena tímtož problémem vstupního obrazu binarizační metody, jako v případě ostatních obrazů s tmavým objektem na tmavém pozadí, nebo světlých objektů na světlém pozadí, a to nedostatečný kontrast mezi jasovými úrovněmi pixelů obrazu s pixely náležícími pozadí.

### **Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení**

*Tab. 13 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení:*

<b>Metoda</b>	<b>Hodnota použitého prahu</b>	<b>Počet chybových pixelů</b>	<b>Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu</b>
<b>Manuální</b>	T=100	238848	77.75%
<b>Otsu</b>	T=157.61	43825	14.26%
<b>Hysterezní</b>	T1=177.61 T2=157.61	43069	14.01%
<b>Poměrné</b>	<b>T=176.93</b>	<b>35255</b>	<b>11.47%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=165.14	45286	14.74%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=165.14	44900	14.61%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 5.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 13** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního poměrného prahování užívající pro binarizaci prahovací hodnoty  $T = 176,93$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 35255 pixelů, tedy 11,47% pixelů matice testovaného obrazu.

Tato metoda stejně jako zbylé metody svou chybovostí vyhodnocení (viz. **Tab. 13**) nesplňuje kritérium 10% tolerance chybovosti. Z vizuální kontroly výsledků verifikace je ovšem zřetelné, že nadbytečnou chybovost metod do 15% způsobuje lesklá plocha čocky vyobrazené na vstupním obrazu. Veškeré metody, vyjma metody manuální volby prahu o úrovni prahu  $T = 100$ , jsou tak velmi dobře aplikovatelné pro binarizaci obrazů obdobně sestavených scén objektu, pozadí a osvětlení, jakou je testovaný obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení.



## Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení

*Tab. 14 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	131592	42.83%
<b>Otsu</b>	T=133.52	85466	27.82%
<b>Hysterezní</b>	T1=153.52, T2=133.52	81581	26.55%
<b>Poměrné</b>	<b>T=176.93</b>	<b>35906</b>	<b>11.68%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=152.59	66220	21.55%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=152.59	64042	20.84%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 5.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 14** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního poměrného prahování užívající pro binarizaci prahovací hodnoty  $T = 176,93$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 35906 pixelů, tj. 11,68% pixelů matice testovaného obrazu.

Nejlépe vyhodnocená metoda i se zbývajícími svou chybovostí vyhodnocení (viz. **Tab. 14**) nesplňuje kritérium 10% tolerance chybovosti, avšak je mu velmi blízká. Dalo by se tedy uznat, že metoda poměrného prahování je metodou nejvhodnější pro binarizaci podobných scén vstupního obrazu. Z vizuální kontroly výsledků verifikace je ovšem zřejmé, že nadbytečnou chybovost metod vůči výsledkům verifikace též scény obrazu o denním osvětlení způsobuje právě nepřímé osvětlení scény v obrazu. Chybu osvětlení byla nejlépe schopna eliminovat právě nejúspěšnější metoda poměrného prahování. Je tedy nejvhodnější metodou pro aplikaci v automatizaci, kde by chyba způsobená nepřímým osvětlením mohla mít za následek špatné vyhodnocení testovaného objektu.

## Obraz se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení

*Tab. 15 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení:*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	58420	19.01%
<b>Otsu</b>	T=109.42	46173	15.03%
<b>Hysterezní</b>	T1=129.42, T2=109.42	44021	14.32%
<b>Poměrné</b>	<b>T=140.51</b>	<b>30506</b>	<b>9.93%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=101.64	68399	22.26%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=101.64	66731	21.72%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 5.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 15** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního poměrného prahování užívající pro binarizaci prahovací hodnoty  $T = 140,51$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 30506 pixelů, tzn. 9,93% pixelů matice testovaného obrazu. Metoda tak

splňuje kritérium 10% tolerance chybovosti, je tedy dobře aplikovatelná pro binarizaci obrazů o podobných scénách, jako je tomu u testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení.

Ve všech výsledných obrazech verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 5.3) výsledků binarizačních metod je zřetelná zvýšená chybovost binarizace způsobená přímým osvětlením, jež se odráží od pozadí objektu a tvoří tak ve středu obrazu světlou oblast postupně ubývající na intenzitě jasu. Takováto chybovost scény by mohla být v reálných podmínkách kompenzována matným černým pozadím snímaného objektu.

### Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení

*Tab. 16 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	970	0.32%
<b>Otsu</b>	T=121.47	910	0.30%
<b>Hysterezní</b>	T1=141.47, T2=121.47	910	0.30%
<b>Poměrné</b>	<b>T=124.89</b>	<b>906</b>	<b>0.29%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=121.72	915	0.30%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=121.72	915	0.30%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 6.1) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 16** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního poměrného prahování užívající pro binarizaci prahovací hodnoty  $T = 124,89$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 906 pixelů, pouze 0,29% pixelů matice testovaného obrazu.

Metoda tedy společně se všemi dalšími testovanými metodami o chybovosti do 0,3% splňuje kritérium chybovosti do 10% pixelů matice testovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru. Metody jsou proto dobře aplikovatelné pro binarizaci obrazů o podobných scénách, jako je tomu u testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení.

### Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení

*Tab. 17 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	T=100	3345	1.09%
<b>Otsu</b>	T=127.49	8508	2.77%
<b>Hysterezní</b>	T1=147.49, T2=127.49	8464	2.76%
<b>Poměrné</b>	<b>T=93.67</b>	<b>3082</b>	<b>1.00%</b>
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	T=121.34	3123	1.02%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	T=121.34	3110	1.01%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 6.2) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 17** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního poměrného prahování užívající pro binarizaci prahovací hodnoty  $T = 93,67$  s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 3082 pixelů, tedy 1% pixelů matice testovaného obrazu.

Metoda tak společně se všemi dalšími testovanými metodami o chybovosti  $\langle 1,01 - 2,76\% \rangle$  splňuje kritérium chybovosti do 10% pixelů matice testovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru. Metody jsou tedy dobře aplikovatelné pro binarizaci obrazů o podobných scénách, jako je tomu u testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení.

### **Obraz se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení**

*Tab. 18 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení*

Metoda	Hodnota použitého prahu	Počet chybových pixelů	Procentuální chyba vyhodnocených pixelů vůči matici obrazu
<b>Manuální</b>	$T=100$	4095	1.33%
<b>Otsu</b>	$T=108.42$	3696	1.20%
<b>Hysterezní</b>	<b><math>T1=128.42, T2=108.42</math></b>	<b>3392</b>	<b>1.10%</b>
<b>Poměrné</b>	$T=114.48$	3620	1.17%
<b>Adaptivní-Otsu.</b>	$T=108.17$	3998	1.30%
<b>Adaptivní-Hyst.</b>	$T=108.17$	3674	1.19%

Z výsledků verifikace (viz. Příloha výsledků verifikace č. 6.3) obsažených v tabulce výsledků **Tab. 18** je zřejmé, že pro binarizaci obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení je nejúspěšnější binarizační metodou metoda globálního hysterezního prahování vycházející z Otsuovy hodnoty prahu a míry hystereze  $d = 20$ . Prahy metody tak jsou  $T1 = 128,42$  a  $T2 = 108,42$ . Metoda globálního hysterezního prahování tak binarizuje vstupní obraz s celkovou chybou vyhodnocení pixelů binarizovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru v počtu 3392 pixelů, tj. 1,1% pixelů matice testovaného obrazu.

Metoda tedy společně se všemi dalšími testovanými metodami o chybovosti  $\langle 1,17 - 1,33\% \rangle$  splňuje kritérium chybovosti do 10% pixelů matice testovaného obrazu vůči verifikačnímu vzoru. Metody jsou tak pro svou malou chybovost velmi dobře aplikovatelné pro binarizaci obrazů o podobných scénách, jako je tomu u testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení.

## Závěr

Užitím pro tuto práci vyhotoveného systému verifikace metod binarizace obrazového signálu lze pro zkoumaný obraz vyhodnotit tu nejméně chybovou metodu jeho binarizace. Jeho užíváním tak lze zamezit chybnému vyhodnocení bodů v digitálním obrazu zobrazeného objektu jako pozadí či naopak.

Výsledky verifikace binarizace testovaných obrazů uvedenými v tabulkách **Tab. 1** až **Tab. 18** je potvrzen předpoklad, že pro dosažení binarizace s co nejmenší chybou musí být v obrazu dostatečně velký jasový kontrast mezi pixely snímaného objektu a pixely jeho pozadí.

Z výsledků verifikace vyplývá nutnost použití co možná největšího kontrastu jasových úrovní mezi pixely náležícími objektu a pixely pozadí objektu pro co možná nejméně chybovou binarizaci řešeného obrazu. Bylo tak zjištěno porovnáním výsledků verifikace většího počtu kontrastních scén obrazu, jakými jsou obrazy s tmavým objektem na světlém pozadí (uvedené v tabulkách **Tab. 1** až **Tab. 3**), nebo obrazech se světlým objektem na tmavém pozadí (uvedené v tabulkách **Tab. 16** až **Tab. 18**), jejichž verifikační chyba vůči verifikačním vzorům byla zpravidla v jednotkách procent plochy testovaného obrazu, tj. velmi uspokojivé.

Naopak zcela pro binarizaci pomocí užitých metod nevhodnými scénami jsou z výsledků verifikace prokazatelně scény obrazů s malým až zanedbatelným kontrastem jasových úrovní pixelů objektu a pozadí. To znamená, že obrazy se světlým objektem na světlém pozadí (uvedené v tabulkách **Tab. 7** až **Tab. 9**) a obrazy s tmavým objektem na tmavém pozadí (uvedené v tabulkách **Tab. 10** až **Tab. 12**) nejsou použitými metodami separovatelné, nedoporučuje se tedy jejich užívání.

Vyhodnocení výsledků verifikace binarizace obrazů, v jejichž scénách se vyskytuje stříbrolesklý objekt (uvedené v **Tab. 4** až **Tab. 6** a **Tab. 13** až **Tab. 15**), je individuální pro každou z testovaných scén.

Výsledky verifikace poukazují na zvýšenou chybovost vyhodnocení binarizace všech implementovaných metod na nepřímé či nerovnoměrné osvětlení scény obrazu, tzn. lze tvrdit, že užití rovnoměrného osvětlení scény pro pořízení následně binarizovaného obrazu je nejvhodnější.

Práce může být dále rozšířena o další binarizační metody, jejichž výsledky mohou být systémem rovněž vyhodnoceny a zaneseny do případných příloh rozšiřujících dále tuto práci. Z důvodu velkého množství možných metod provádějících binarizaci obrazového signálu je tak možné rozšíření práce téměř neomezené.

## Seznam zdrojů informací

- [1] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2012. 189 s. ISBN 978-80-248-2596-0.
- [2] SOJKA, Eduard, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Digitální zpracování a analýza obrazů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2000. 133 s. ISBN 80-707-8746-5.
- [3] ŠIMEK, M. *Binarizace digitálních hologramů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2010. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Lobaza
- [4] SOJKA, Eduard, Jan GAURA a Michal KRUMNIKL. *Matematické základy digitálního zpracování obrazu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. 133 s.
- [5] BARTONĚK, Dalibor. *Počítačová grafika I. Modul 2 - Technické prostředky, zpracování obrazu a základy 3D grafiky*. Brno: VUT FAST, 2005. 122 s. Skripta. VUT FAST.
- [6] WALEK, Petr, Martin LAMOŠ a Jiří JAN. *Analýza biomedicínských obrazů: Počítačová cvičení*. první. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. 138 s. ISBN 978-80-214-4792-9. Učební texty. VUT v Brně.
- [7] MCANDREW, Alasdair. *An introduction to digital image processing with MATLAB*. 1st ed. Belmont, CA: Brooks/Cole, 2004, p. ISBN 05-344-0011-6.
- [8] GONZALES, Rafael C., Richard E. WOODS a Steven L. EDDINS. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Glasgow: Bell & Bain Ltd., 2013, p. ISBN 9780077138615.
- [9] HAŠKOVEC, Viktor a Martina MUDROVÁ. Segmentace obrazu s využitím hysterezního prahování. In: *Sborník příspěvků 12. ročníku konference MATLAB 2004*. Kongresové centrum ČVUT Praha 4.11.2004: VŠCHT Praha, 2004, s. 3. ISBN 80-7080-550-1.
- [10] NOVOTNÝ, S. *Detekce mobilního robotu zpracováním obrazu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Krejsa, Ph.D..
- [11] ŠIMEK, M. *Binarizace digitálních hologramů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2010. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Lobaza

## Seznam obrázků a tabulek

- Obr. 1 Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:  
A -denní, B -nepřímé, C-přímé
- Obr. 2 Přehled: stříbrolesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:  
A -denní, B -nepřímé, C-přímé
- Obr. 3 Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz manuálního prahování se zvoleným prahem  $T = 100$ , osvětlení:  
A -denní, B -nepřímé, C-přímé
- Obr. 4 Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (106,41), B –nepřímé (106,41), C-přímé (75,29)
- Obr. 5 Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (121,47), B –nepřímé (134,52), C-přímé (93,36)
- Obr. 6 Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz Otsuova prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (138,54), B –nepřímé (132,51), C-přímé (100,39)
- Obr. 7 Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (93,67), B –nepřímé (72,85), C-přímé (72,85)
- Obr. 8 Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (114,48), B –nepřímé (67,65), C-přímé (62,44)
- Obr. 9 Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz poměrného prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T$ ):  
A –denní (119,69), B –nepřímé (93,67), C-přímé (83,26)
- Obr. 10 Přehled: tmavý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysteretzního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1; T_2$ ):  
A – denní (106,41; 86,41), B – nepřímé (106,41; 86,41), C - přímé (75,29; 55,29)
- Obr. 11 Přehled: lesklý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysteretzního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1; T_2$ ):  
A – denní (121,47; 101,47), B – nepřímé (134,52; 114,52), C - přímé (93,36; 73,36)
- Obr. 12 Přehled: světlý objekt na světlém pozadí, histogram obrazu, výsledný binární obraz hysteretzního prahování, osvětlení (hodnota prahu  $T_1; T_2$ ):  
A – denní (138,54; 118,54), B – nepřímé (132,51; 112,51), C - přímé (100,39; 80,39)

- Obr. 13 Částečně adaptivně prahovaný obraz o čtvrtinovém adaptivním prahování
- Obr. 14 Částečně adaptivně prahovaný obraz binarizovaný po  $\frac{1}{16}$  matice obrazu
- Obr. 15 Přehled: Tmavý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C – přímé
- Obr. 16 Přehled: Lesklý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C – přímé
- Obr. 17 Přehled: Světlý obraz v odstínech šedi na světlém pozadí, Adaptivně binarizovaný obraz Otsuovou metodou, Adaptivně binarizovaný obraz hysterezní metodou  
Osvětlení: A – denní, B – nepřímé, C – přímé
- Obr. 18 Vývojový diagram programu systému pro binarizaci a následnou verifikaci implementovaných metod
- Obr. 19 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 20 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 21 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 22 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 23 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 24 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 25 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 26 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

- Obr. 27 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 28 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 29 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 30 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 31 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 32 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 33 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 34 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 35 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Obr. 36 Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní
- Tab. 1 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení
- Tab. 2 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení
- Tab. 4 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení



- Tab. 3 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení
- Tab. 5 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení
- Tab. 6 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s lesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení
- Tab. 7 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení:
- Tab. 8 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení:
- Tab. 9 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení:
- Tab. 10 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení:
- Tab. 11 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení:
- Tab. 13 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení:
- Tab. 12 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení:
- Tab. 14 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení:
- Tab. 15 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení:
- Tab. 16 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení
- Tab. 17 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení
- Tab. 18 Výsledky verifikace binarizačních metod obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení

## Seznam příloh

Tištěné přílohy - soubory výsledků binarizace a jejich verifikace:

Příloha výsledků č. 1.1

Příloha výsledků č. 1.2

Příloha výsledků č. 1.3

Příloha výsledků č. 2.1

Příloha výsledků č. 2.2

Příloha výsledků č. 2.3

Příloha výsledků č. 3.1

Příloha výsledků č. 3.2

Příloha výsledků č. 3.3

Příloha výsledků č. 4.1

Příloha výsledků č. 4.2

Příloha výsledků č. 4.3

Příloha výsledků č. 5.1

Příloha výsledků č. 5.2

Příloha výsledků č. 5.3

Příloha výsledků č. 6.1

Příloha výsledků č. 6.2

Příloha výsledků č. 6.3



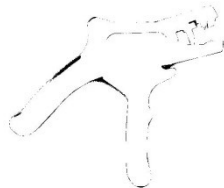

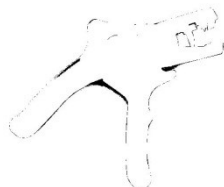

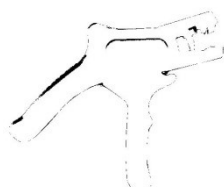

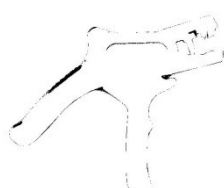

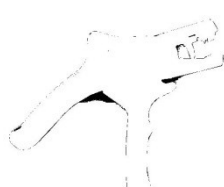

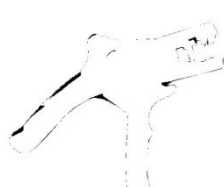
Přílohy na CD:

Program pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu ve formě MatLab m-souborů.

Složka vstupních a výstupních dat programu. (originály testovaných obrazů, histogramy obrazů, verifikační vzory, binarizované výstupní obrazy systému, obrazy výsledků verifikace)



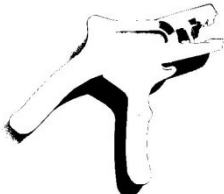

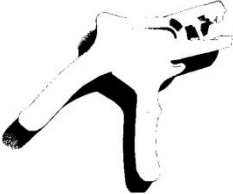

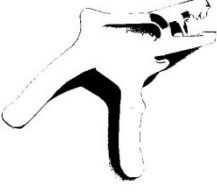

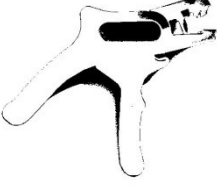

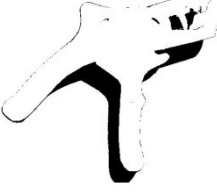


Digitální kopie protokolu bakalářské práce *Systém pro verifikaci metod binarizace obrazového signálu*.

## Příloha výsledků č. 1.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			



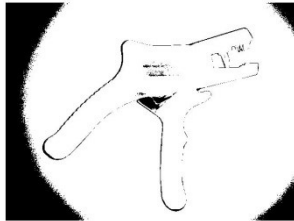

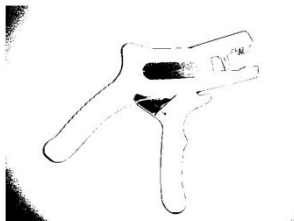

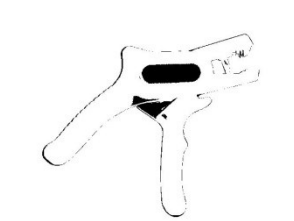

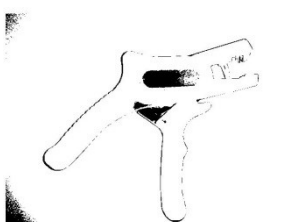

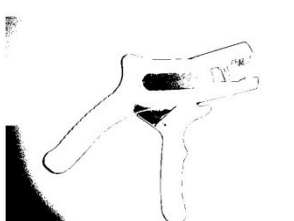
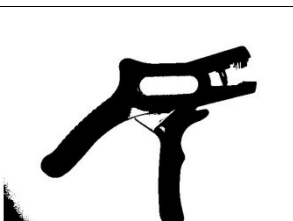
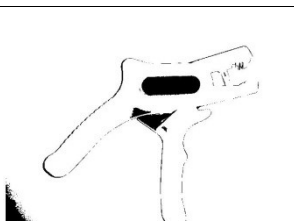
**Obr. 19** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 1.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


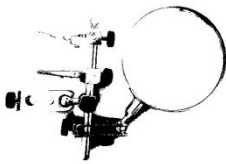
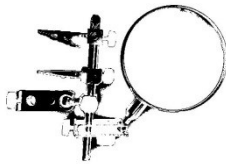

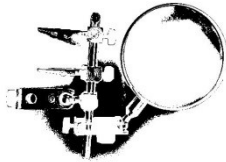
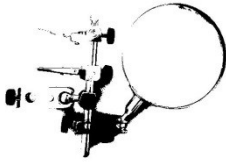
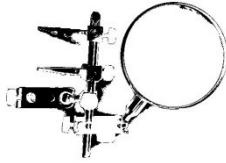
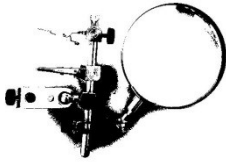

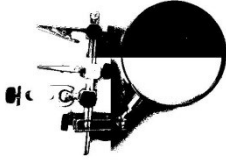

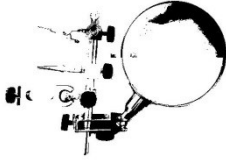
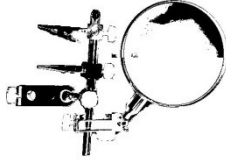
**Obr. 20** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

### Příloha výsledků č. 1.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


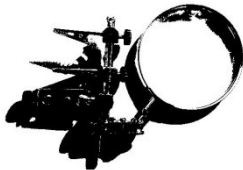
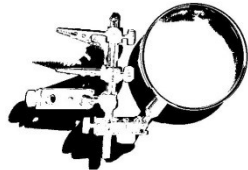





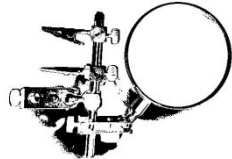


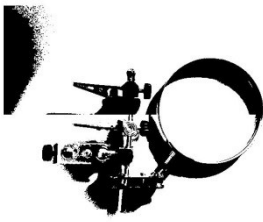
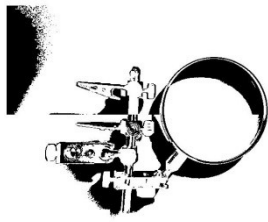
**Obr. 21** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 2.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


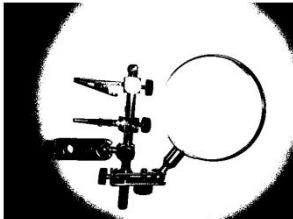
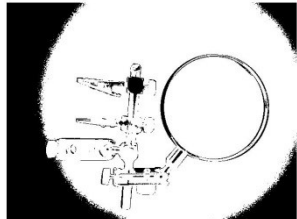
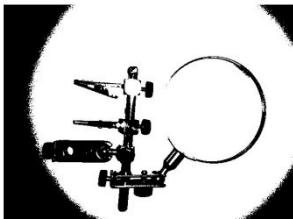
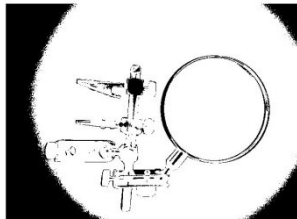
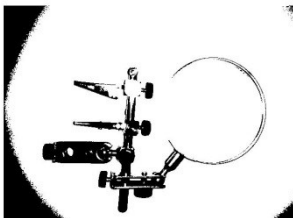
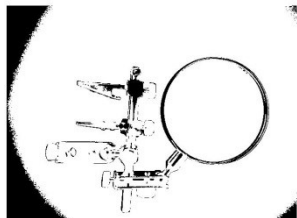
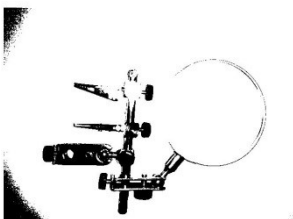
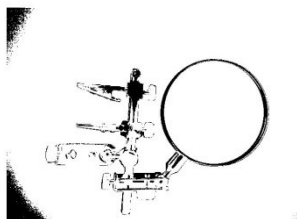
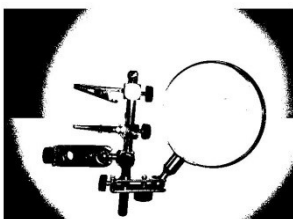
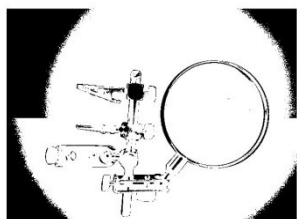
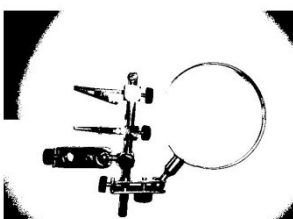
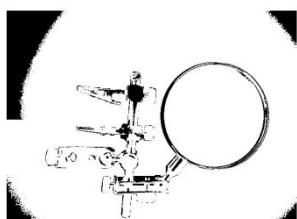
**Obr. 22** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
*A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní*

## Příloha výsledků č. 2.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 23** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
*A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní*


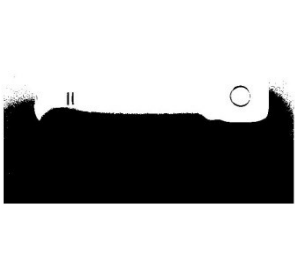
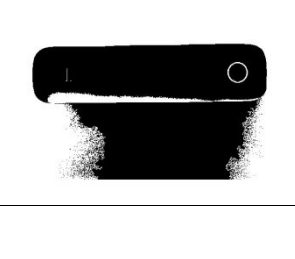
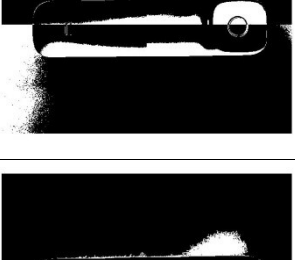
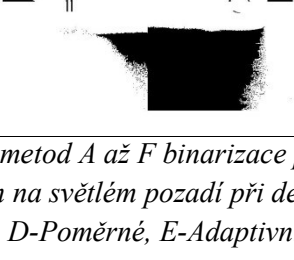

## Příloha výsledků č. 2.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 24** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní


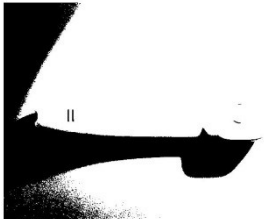
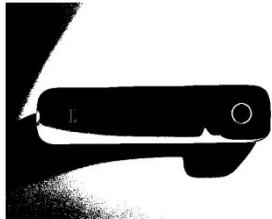

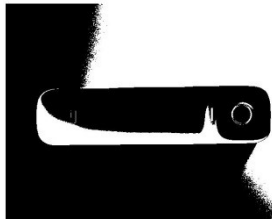
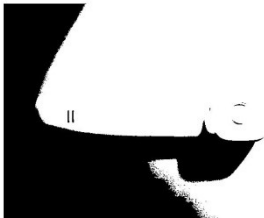
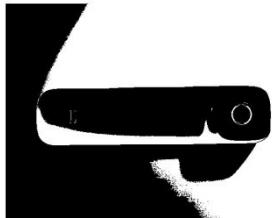
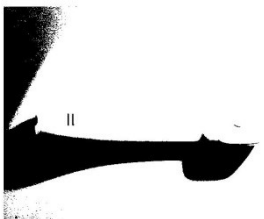
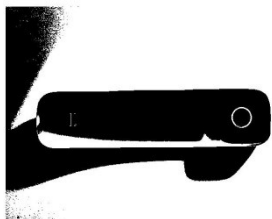
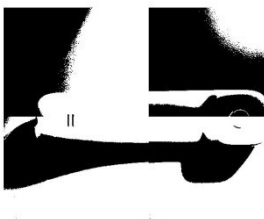
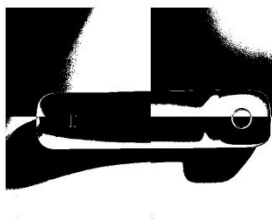
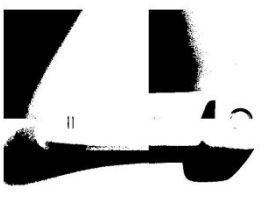
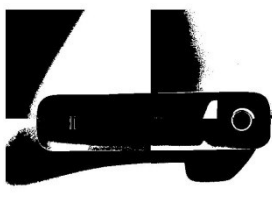


### Příloha výsledků č. 3.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


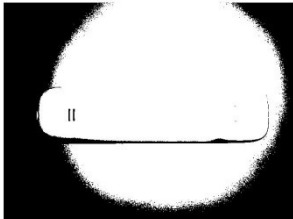
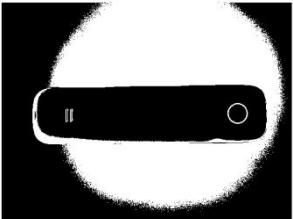
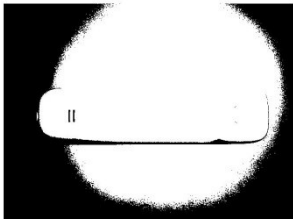
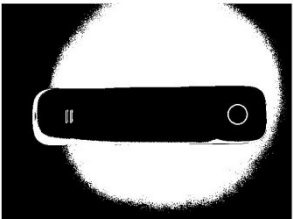
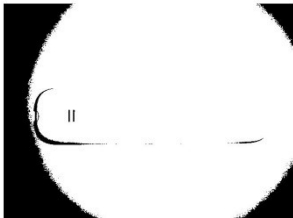
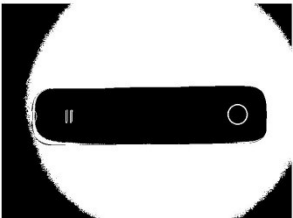
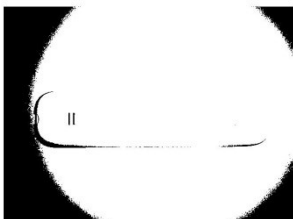
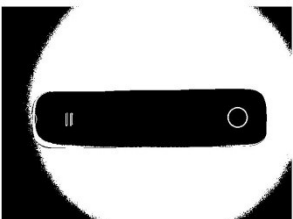
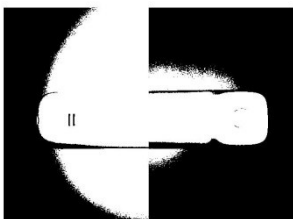
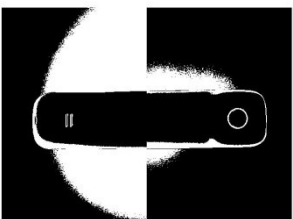
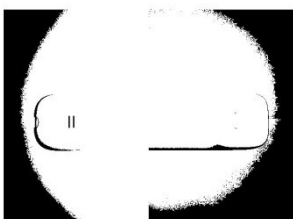
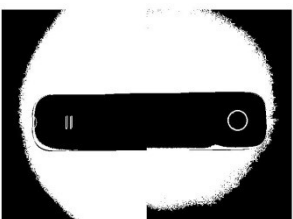
**Obr. 25** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 3.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


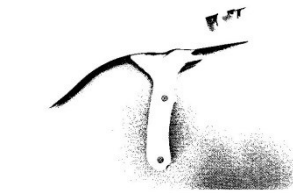


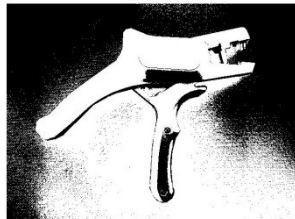

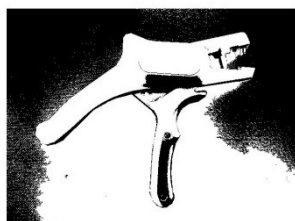
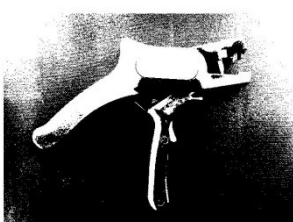


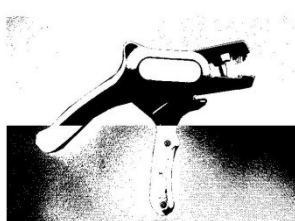
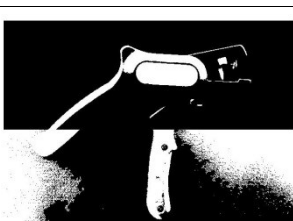
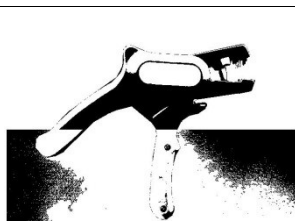
**Obr. 26** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

### Příloha výsledků č. 3.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


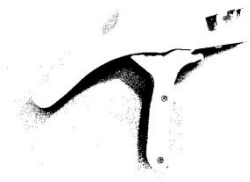
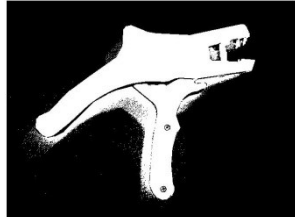

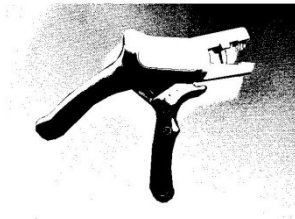



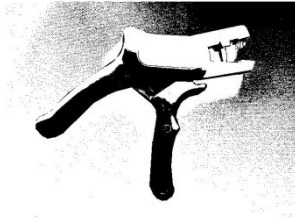
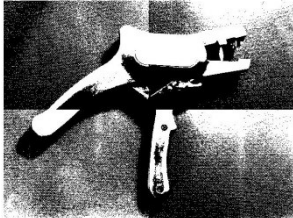
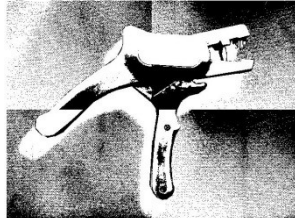
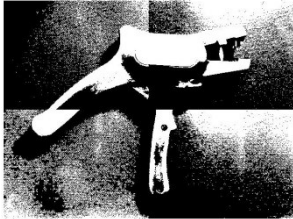
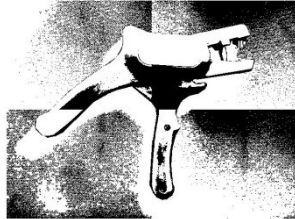
**Obr. 27** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na světlém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 4.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			



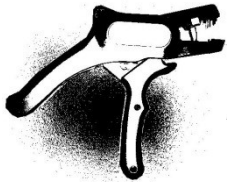
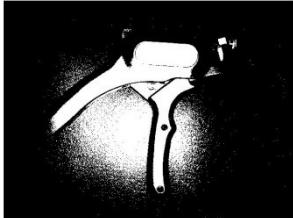
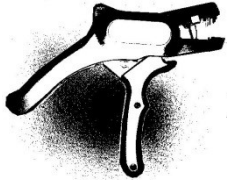
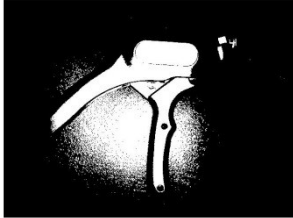
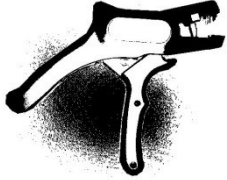
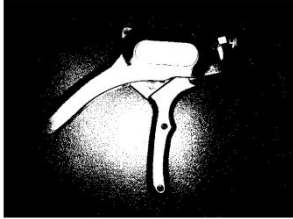
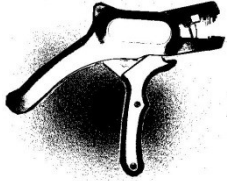

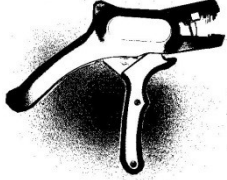
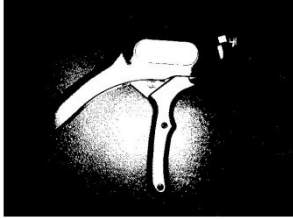
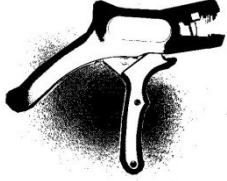
**Obr. 28** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
*A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní*

## Příloha výsledků č. 4.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

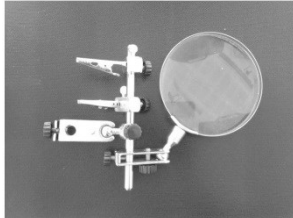
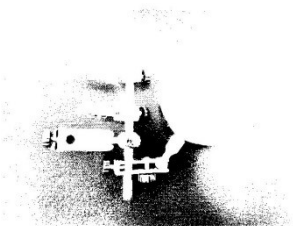
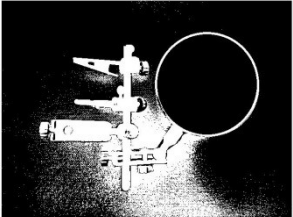
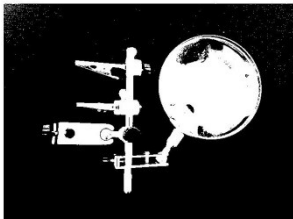
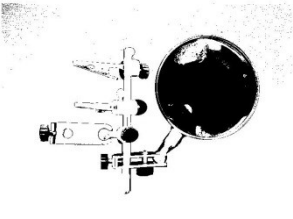
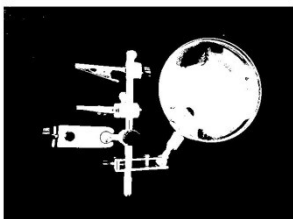
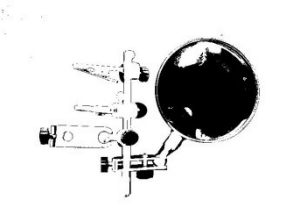
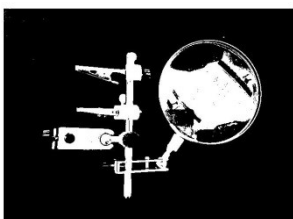
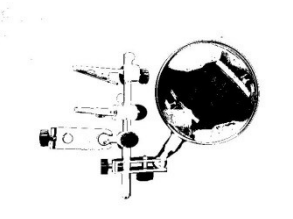
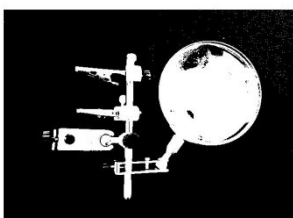
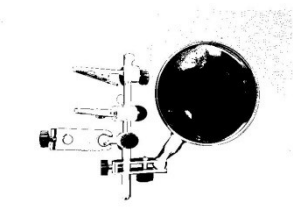
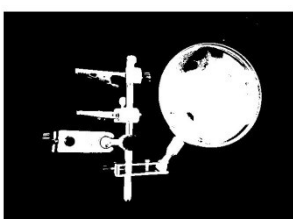
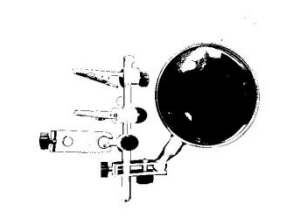
**Obr. 29** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

### Příloha výsledků č. 4.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

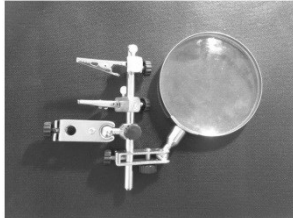
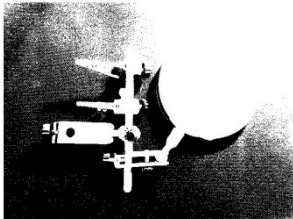
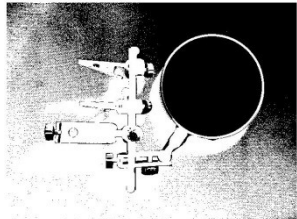
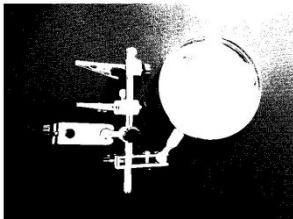
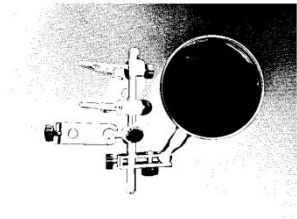
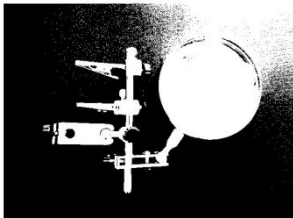
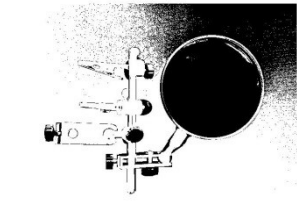
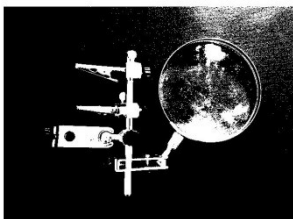
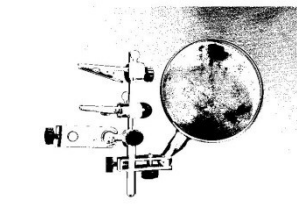
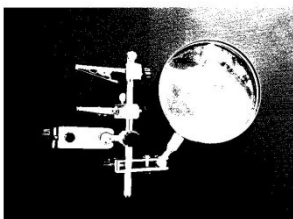
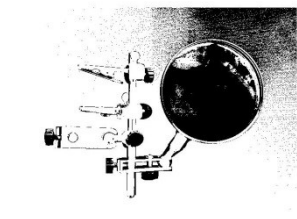
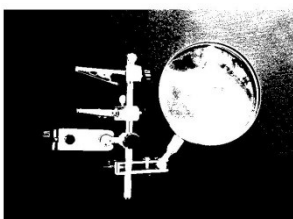
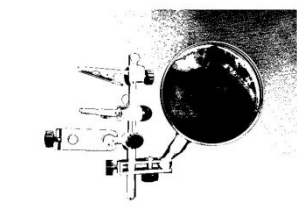
**Obr. 30** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu s tmavým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
*A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní*

## Příloha výsledků č. 5.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 31** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
*A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní*

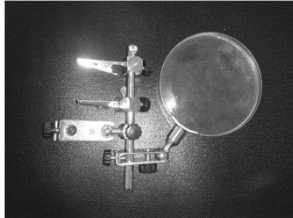
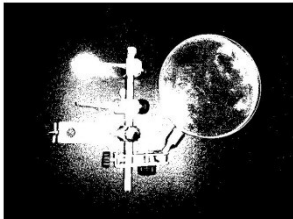
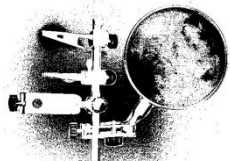
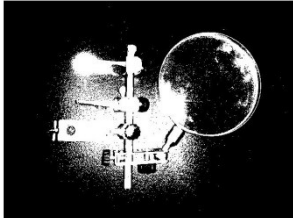
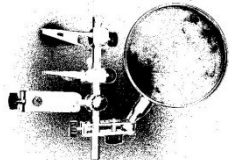
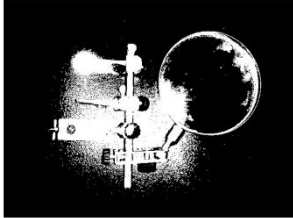
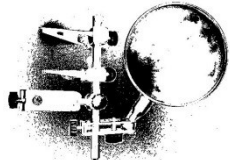
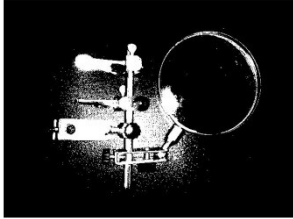
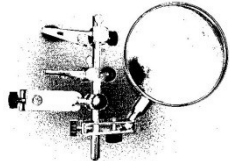
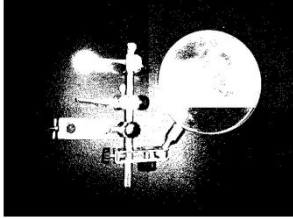
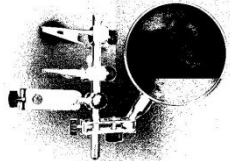
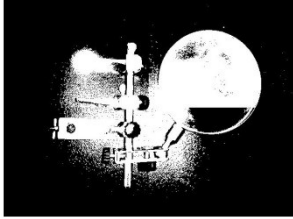
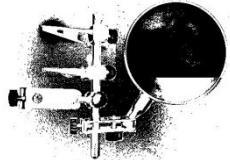
## Příloha výsledků č. 5.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 32** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní


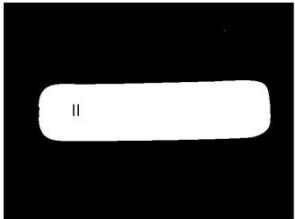
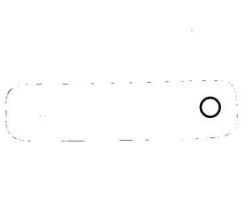
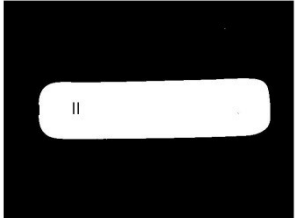
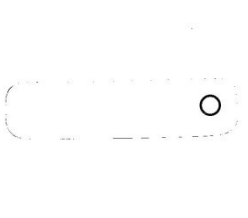
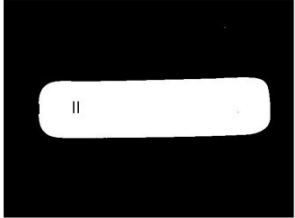
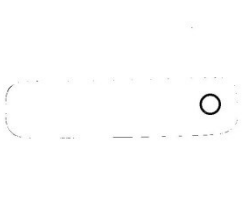
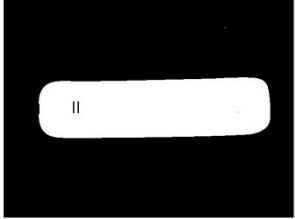
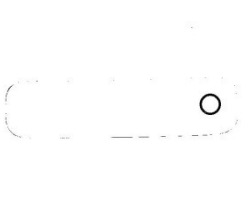
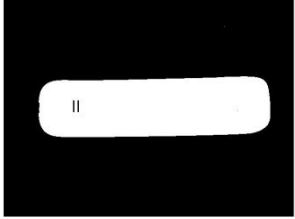
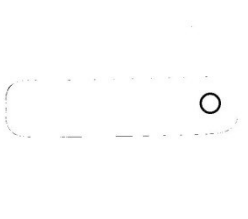
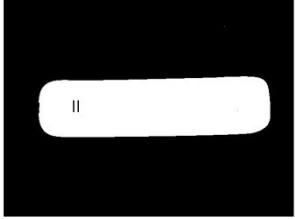
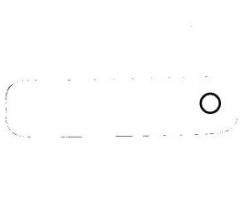


## Příloha výsledků č. 5.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


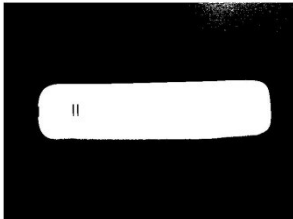
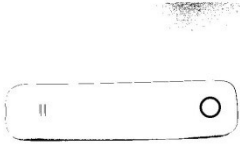
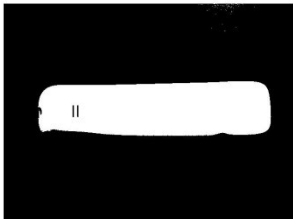
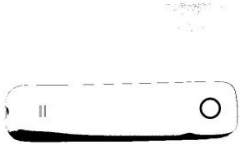
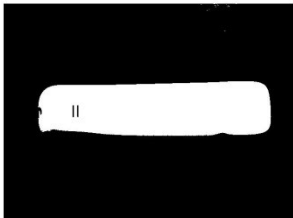
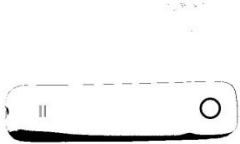
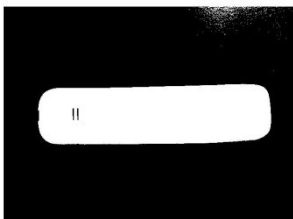
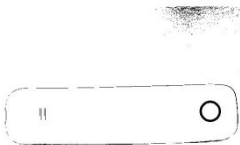
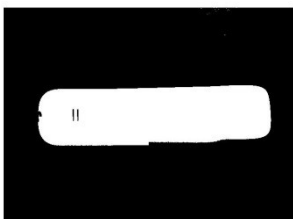

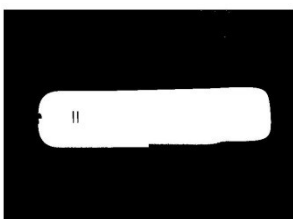
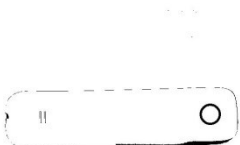
**Obr. 33** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se stříbrolesklým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 6.1

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			


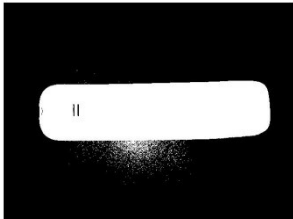

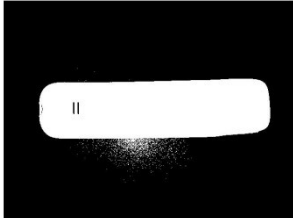
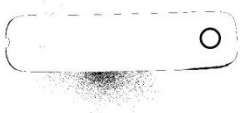
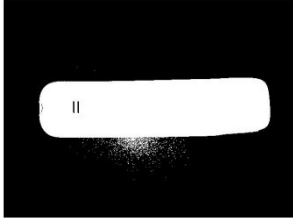
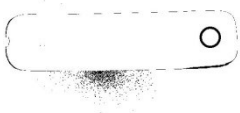
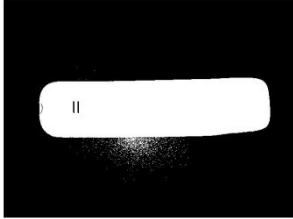
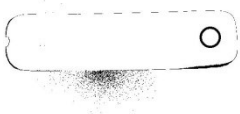
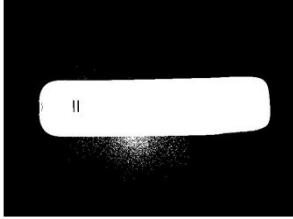
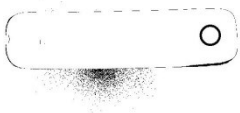
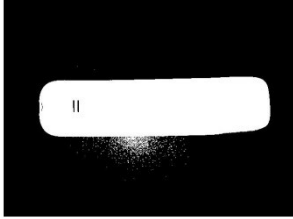
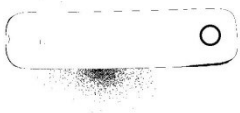
**Obr. 34** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při denním osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 6.2

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 35** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při nepřímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní

## Příloha výsledků č. 6.3

	Testovaný obraz	Binární obraz	Chyba metody binarizace
A			
B			
C			
D			
E			
F			

**Obr. 36** Přehled výsledků verifikace metod A až F binarizace prahováním testovaného obrazu se světlým objektem na tmavém pozadí při přímém osvětlení  
A-Manuální, B-Otsu, C-Hysterezní, D-Poměrné, E-Adaptivní-Otsu, F-Adaptivní-Hysterezní